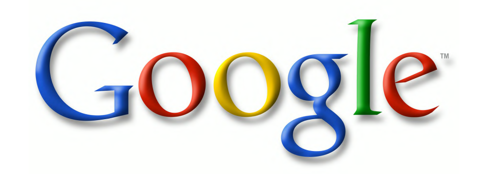
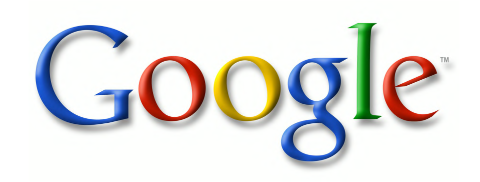

Google



DÉTERMINATION IMMÉDIATE

DE LA

DÉVIATION DU COMPAS

PAR LA

NOUVELLE MÉTHODE DES COMPAS CONJUGUÉS.

3912 PARIS — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
Quai des Augustins, 55.

DÉTERMINATION IMMÉDIATE

DE LA

DÉVIATION DU COMPAS

PAR LA

NOUVELLE MÉTHODE DES COMPAS CONJUGUÉS,

PAR

F.-E. FOURNIER,

Lieutenant de vaisseau.

PUBLIÉ AVEC L'AUTORISATION DE M. LE VICE-AMIRAL GICQUEL DES TOUCHES, MINISTRE DE LA MARINE ET DES COLONIES.

THÉORIE ET PRATIQUE.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1878

A

MONSIEUR

LE VICE-AMIRAL JAURÉGUIBERRY,

Commandant en chef l'escadre d'évolutions de la Méditerranée.

1876-1877.

AVANT-PROPOS.

Ce Mémoire est divisé en deux Parties distinctes ayant pour objets :

1° De démontrer qu'il existe une relation générale fort simple entre les *Déviations* et les *Caps* de deux compas situés à l'arrière du bâtiment, dans le plan longitudinal, en deux points suffisamment espacés de la même verticale ;

2° D'expliquer l'usage que l'on peut faire de cette relation pour déterminer à tout instant, à la mer, à un cap quelconque, l'orientation magnétique du bâtiment.

La première Partie (*Théorie*) n'est composée que de démonstrations élémentaires auxquelles nous avons tenu à donner toute la généralité possible, en évitant les hypothèses que l'on accepte généralement pour simplifier l'analyse.

La deuxième Partie (*Pratique*), quoique formant la suite naturelle et le complément indispensable de la théorie, peut être lue isolément ; car elle renferme tous les renseignements qui sont nécessaires au constructeur et à l'observateur, pour l'installation des compas à bord et l'application de la méthode à la mer.

Avant d'entrer en matière, je croirais manquer au sentiment d'une juste reconnaissance, en omettant de remercier M. le contre-amiral DE JONQUIÈRES d'avoir bien voulu me prêter l'appui de ses bienveillants et judicieux conseils.

DÉTERMINATION IMMÉDIATE

DE LA

DÉVIATION DU COMPAS

PAR LA

NOUVELLE MÉTHODE DES COMPAS CONJUGUÉS.



PREMIÈRE PARTIE.

THÉORIE.

Définitions.

Nous conviendrons d'appeler :

Méridien magnétique du lieu, selon l'usage, le plan vertical passant par l'axe de suspension de la rose du compas, dans lequel agit la *force directrice* du globe ;

Méridien déviateur du navire le plan vertical passant par l'axe de suspension de la rose du compas, dans lequel agit la *force déviatrice* développée sur chaque pôle de l'aiguille par l'aimantation du bâtiment ;

Méridien directeur le plan vertical passant par l'axe de suspension de la rose du compas, dans lequel l'aiguille aimantée s'oriente en équilibre suivant la diagonale du parallélogramme des forces constitué par les composantes horizontales de la *force directrice* de la Terre et de la *force déviatrice* du bâtiment ;

Cap magnétique le cap exprimé par l'angle Z du *méridien magnétique* et du *plan longitudinal,* compté du nord magnétique, à l'avant du navire, vers l'est, de zéro à 360° ;

Cap du compas le cap exprimé par l'angle z du *méridien directeur* et du *plan longitudinal,* compté du nord de la rose, à l'avant du navire, vers l'est, de zéro à 360°;

Déviation du compas l'angle δ du *méridien magnétique* et du *méridien directeur,* compté du nord magnétique au nord du compas, vers l'est ou vers l'ouest, et affecté du signe + dans le premier cas et du signe — dans le deuxième cas;

U l'angle du *méridien déviateur* et du *méridien magnétique,* compté du nord magnétique vers l'est de zéro à 360°;

ω l'angle du *méridien déviateur* et du *plan longitudinal,* compté de l'avant du navire vers la droite de zéro à 360°;

ψ la composante horizontale de la *force déviatrice* développée sur chaque pôle du compas par l'aimantation du bâtiment;

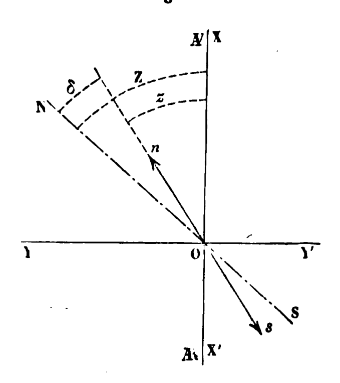
φ la composante horizontale de la *force directrice* développée sur chaque pôle du compas par le magnétisme terrestre.

Relation algébrique entre la déviation, le cap magnétique et le cap du compas.

1. On voit sur la *fig.* 1 que les angles

$$NOn = \delta, \quad NOX = Z, \quad nOX = z$$

Fig. 1.



sont liés ensemble par la relation

$$NOX = nOX + nON,$$

ou

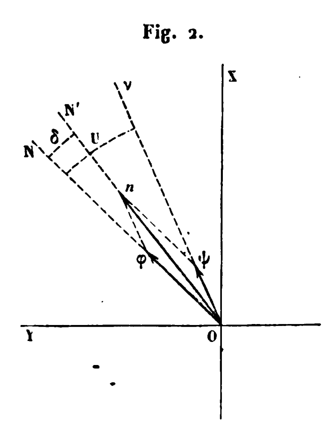
$$Z = z + \delta,$$

qui s'étend à tous les cas possibles.

Équation d'équilibre du compas.

2. Soient ON, ON', Oν les traces sur le plan horizontal de la rose du *méridien magnétique,* du *méridien directeur* et du *méridien déviateur;* Oφ et Oψ des longueurs proportionnelles aux composantes horizontales φ et ψ de la force directrice du globe et de la force déviatrice du navire.

Fig. 2.



Ces forces φ et ψ, qui orientent l'aiguille dans la direction ON' de la diagonale du parallélogramme $\varphi O \psi n$, sont liées ensemble par la relation

$$\frac{O\psi}{O\varphi} = \frac{\sin \varphi O n}{\sin \varphi n O};$$

mais, en remarquant que l'on a

$$\varphi O n = \delta \quad \text{et} \quad \varphi n O = n O \psi = \text{NO}\nu - \text{NON}' = \text{U} - \delta,$$

cette relation devient

$$\frac{\psi}{\varphi} = \frac{\sin \delta}{\sin(U - \delta)}$$

ou

(1) $$\sin \delta = \frac{\psi}{\varphi} \sin(U - \delta);$$

et sous cette forme elle exprime les conditions d'équilibre de l'aiguille aimantée dans le plan horizontal, constituant ainsi l'*équation d'équilibre du compas*.

Remarque.

3. Il sera souvent utile, dans les calculs d'approximation que nous aurons à effectuer, de pouvoir apprécier, au moyen de l'amplitude des déviations du compas, la valeur numérique approchée du rapport $\frac{\psi}{\varphi}$ qui convient à l'équation (1). Pour cela, représentons par Δ la déviation maxima.

Si le bâtiment ne renferme que du magnétisme *permanent*, la force déviatrice ψ restant constante à tous les caps, la déviation δ atteint son maximum, d'après l'équation (1), lorsque $U - \delta = \frac{\pi}{2}$. On a donc, dans ce cas, la relation

$$\frac{\psi}{\varphi} = \sin \Delta,$$

qui permet d'exprimer exactement le rapport $\frac{\psi}{\varphi}$ au moyen de la déviation maxima Δ.

Mais, lorsque le système déviateur est composé à la fois de magnétisme *permanent* et de magnétisme *induit*, la force déviatrice ψ varie avec le cap du bâtiment, et la fonction $\sin \Delta$ ne représente alors qu'une valeur moyenne plus ou moins approchée, suivant le cap, du rapport $\frac{\psi}{\varphi}$, c'est-à-dire la valeur de ce rapport qui conviendrait à une force déviatrice fictive, d'intensité constante, produisant des déviations équivalentes en amplitude aux déviations réelles.

Sous cette réserve on pourra admettre encore la relation

$$\frac{\psi}{\varphi} = \sin \Delta,$$

chaque fois qu'il suffira, pour calculer une valeur approchée d'une petite déviation δ au moyen de l'équation (1), de substituer à ce rapport sa valeur numérique moyenne.

Expression générale de la déviation en fonction du cap magnétique.

4. La déviation peut s'exprimer explicitement en fonction du cap magnétique Z. On sait, en effet, qu'à une époque et dans un lieu déterminés, la déviation d'un compas ne peut varier qu'en raison des changements d'orientation du bâtiment; δ est donc une fonction du cap magnétique Z, choisi naturellement comme variable indépendante, puisqu'il mesure les déplacements arbitraires du navire par rapport à l'orientation fixe du méridien magnétique du lieu.

Or cette fonction conserve des valeurs finies, lorsqu'on fait varier Z de zéro à 2π, et elle reprend périodiquement les mêmes valeurs à chaque révolution du bâtiment; elle peut donc se développer en série indéfinie de la forme

$$(2) \quad \delta = A + B\sin Z + C\cos Z + D\sin 2Z + E\cos 2Z + \ldots + H\sin nZ + K\cos nZ + \ldots,$$

en vertu du théorème connu qui démontre qu'une fonction *finie* et *périodique* F(Z), dont la période est 2π, peut toujours se développer suivant une série dont le terme général est de la forme $H\sin nZ + K\cos nZ$.

Dans cette expression, où le nombre des termes est illimité, A, B, C, ... représentent des paramètres constants, c'est-à-dire indépendants des seuls éléments δ et Z qui varient pendant l'évolution du bâtiment.

Or il est incontestable, d'après tous les faits connus jusqu'à présent, que l'on peut toujours réduire cette série à ses cinq premiers termes. Depuis une quinzaine d'années, en effet, on applique une

expression de cette forme, ainsi limitée, donnant la déviation en fonction du cap, pour les compas étalons placés suivant les prescriptions réglementaires. Cette formule pratique, que M. A. Smith a déduite des relations analytiques de Poisson, entre les composantes rectangulaires des forces déviatrices développées par le magnétisme d'induction et l'orientation magnétique du bâtiment, a donné, sur tous les navires en fer ou blindés, des résultats suffisamment approchés pour qu'on puisse la considérer comme l'expression empirique de la loi des déviations apparentes.

Cet accord entre la formule de M. A. Smith et l'ensemble des faits observés pendant cette longue période d'essais indique évidemment d'une façon générale l'inutilité des termes en $\sin 3Z$, $\cos 3Z$ et des suivants, dans la série illimitée (2), *lorsque le compas est convenablement placé dans le navire.*

On est donc en droit d'exprimer la déviation par la formule

$$\delta = A + B \sin Z + C \cos Z + D \sin 2Z + E \cos 2Z, \tag{3}$$

que l'on peut, malgré le changement de variable, assimiler entièrement à celle de M. A. Smith, pour la valeur et la signification de ses paramètres et l'approximation de ses résultats, lorsque les déviations sont petites, c'est-à-dire limitées à 12°, comme nous le supposerons dans tout le cours de cette analyse.

THÉORIE DES COMPAS CONJUGUÉS.

5. Supposons que l'on fixe deux compas sur la même verticale, dans le plan longitudinal, à un intervalle de 2^m au moins l'un de l'autre, afin d'éviter leurs actions réciproques, et à des hauteurs assez considérables au-dessus du pont pour que leurs déviations ne dépassent pas sensiblement 12° au compas inférieur et 6° au compas supérieur.

En distinguant par les indices 1 et 2 les éléments algébriques

de l'équation (1) appliquée à ces deux compas, on aura simultanément, pour une même orientation quelconque du bâtiment, les deux équations d'équilibre

$$(4) \qquad \sin\delta_1 = \frac{\psi_1}{\varphi}\sin(U_1 - \delta_1), \quad \text{compas inférieur,}$$

$$(5) \qquad \sin\delta_2 = \frac{\psi_2}{\varphi}\sin(U_2 - \delta_2), \quad \text{compas supérieur.}$$

Admettons en outre :

1° Que les compas se trouvent tous deux au-dessus du plan horizontal tangent au sommet des porte-manteaux des embarcations, qui limite à sa partie supérieure l'ensemble des masses de fer de la coque;

2° Que ces compas ne subissent ni l'un ni l'autre l'action déviatrice d'aucun pôle magnétique situé au-dessus de ce plan.

Si l'on suppose ces conditions essentielles satisfaites, les déviations produites par l'attraction générale des masses de fer de la coque sur les deux compas, ne pouvant différer de l'un à l'autre qu'à raison de l'intervalle qui les sépare et qui modifie leurs distances à chaque pôle déviateur, on est naturellement conduit à supposer qu'elles doivent suivre des régimes connexes et rester liées, dans leurs variations simultanées avec l'orientation du navire, par certaines relations que nous nous proposons de mettre en lumière, pour en déduire une loi exprimant directement les déviations de chaque compas en fonction de la différence de leurs caps.

Or cette loi se révélant immédiatement, lorsqu'on suppose l'aimantation symétriquement distribuée dans le navire, par rapport au plan longitudinal, il est préférable, pour mieux fixer les idées, d'examiner ce cas en premier lieu.

Premier cas.

L'aimantation du navire est symétrique par rapport au plan longitudinal.

6. En distinguant par les indices 1 et 2 les paramètres de la formule (3) relatifs aux deux compas, on a simultanément, à un

cap magnétique quelconque Z, les expressions

$$\delta_1 = A_1 + B_1 \sin Z + C_1 \cos Z + D_1 \sin 2Z + E_1 \cos 2Z, \quad \text{compas inférieur,}$$
$$\delta_2 = A_2 + B_2 \sin Z + C_2 \cos Z + D_2 \sin 2Z + E_2 \cos 2Z, \quad \text{compas supérieur,}$$

d'où l'on tire

$$(6) \qquad \frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{A_2 + B_2 \sin Z + C_2 \cos Z + D_2 \sin 2Z + E_2 \cos 2Z}{A_1 + B_1 \sin Z + C_1 \cos Z + D_1 \sin 2Z + E_1 \cos 2Z}.$$

Mais, si l'on suppose l'aimantation du bâtiment symétrique par rapport au plan longitudinal, la résultante des forces déviatrices qu'elle développe sur les pôles du compas reste nécessairement orientée dans ce plan de symétrie qui est alors le *méridien déviateur commun* des deux compas, quelles que soient leurs positions relatives sur la même verticale.

Dans ce cas les déviations δ_1 et δ_2 sont assujetties évidemment à s'annuler ensemble, chaque fois que ce méridien déviateur commun coïncide avec le méridien magnétique, de sorte que le rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ ne peut prendre, à aucun cap, la forme symbolique $\frac{m}{0}$, et par conséquent devenir infini.

Ce rapport fini varie-t-il avec l'orientation magnétique du navire, ou bien au contraire conserve-t-il une grandeur constante à tous les caps?

Dans le premier cas, $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ pourrait s'exprimer par une fonction F(Z) du cap magnétique Z du bâtiment; mais nous allons démontrer que cette hypothèse est inadmissible.

Le rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ est constant.

Remarquons, en premier lieu, que cette fonction $\frac{\delta_2}{\delta_1} = F(Z)$ serait nécessairement périodique et que sa période serait 2π, puisque δ_1 et δ_2 reprennent *ensemble* les mêmes séries de valeurs, après chaque révolution complète du navire; nous venons de démontrer, en outre, qu'elle conserverait des valeurs finies, quel que soit Z; on peut donc poser

$$(7) \qquad \frac{\delta_2}{\delta_1} = \lambda + \lambda_1 \sin Z + \lambda'_1 \cos Z + \ldots + \lambda_n \sin nZ + \lambda'_n \cos nZ + \ldots.$$

en vertu du théorème déjà mentionné dans le n° 4, et qui démontre qu'une fonction finie et périodique, dont la période est 2π, peut toujours se développer suivant une série dont le terme général est de la forme $\lambda_n \sin nZ + \lambda'_n \cos nZ$.

Dans cette expression, $\lambda, \lambda_1, \lambda'_1, \ldots, \lambda_n, \lambda'_n, \ldots$ représentent des paramètres indéterminés, mais qui sont assujettis évidemment, dans la question qui nous occupe, à satisfaire à l'identité de ces deux expressions (6) et (7) du même rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$, c'est-à-dire à l'égalité

$$(8) \quad \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{A_2 + B_2 \sin Z + C_2 \cos Z + D_2 \sin 2Z + E_2 \cos 2Z}{A_1 + B_1 \sin Z + C_1 \cos Z + D_1 \sin 2Z + E_1 \cos 2Z} \\ \quad = \lambda + \lambda_1 \sin Z + \lambda'_1 \cos Z + \ldots + \lambda_n \sin nZ + \lambda'_n \cos nZ + \ldots, \end{array} \right.$$

pour toutes les valeurs de Z entre zéro et 2π.

Or cette identité (8) implique nécessairement que tous les paramètres de la fonction $F(Z)$ soient nuls, à l'exception du premier λ qui est indépendant de la variable Z.

En effet, en chassant le dénominateur du premier membre, en effectuant sa multiplication par le deuxième membre et en égalant les coefficients des sinus et cosinus des mêmes multiples de Z dans les deux membres, on obtient les relations

$$(9) \quad A_2 = A_1\lambda, \quad B_2 = B_1\lambda, \quad C_2 = C_1\lambda, \quad D_2 = D_1\lambda, \quad E_2 = E_1\lambda$$

et

$$\lambda_1 = 0, \quad \lambda'_1 = 0, \quad \ldots, \quad \lambda_n = 0, \quad \lambda'_n = 0, \quad \ldots;$$

d'où il résulte que la fonction indéterminée $F(Z)$ se réduit en réalité à son premier terme constant λ, c'est-à-dire que le rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ ne varie pas avec l'orientation magnétique du bâtiment.

On a donc, pour tous les caps, la relation générale

$$(10) \quad \frac{\delta_2}{\delta_1} = \lambda = \text{const.},$$

que l'on peut formuler ainsi :

Le rapport des déviations correspondantes de deux compas fixés à l'arrière du bâtiment, dans le plan longitudinal et au-

dessus de la limite supérieure de l'ensemble des masses de fer de la coque, reste constant à tous les caps, dans un lieu et à une époque déterminés.

Formule fondamentale des compas conjugués.

7. Cette propriété remarquable du rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ conduit directement à la formule pratique qui est la base de cette méthode.

Remarquons, en effet, que de l'égalité (10) on déduit

$$\frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_2} = \frac{1-\lambda}{\lambda} \quad \text{ou} \quad \frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_1} = \frac{1-\lambda}{1},$$

d'où

$$\delta_2 = \frac{\lambda}{1-\lambda}(\delta_1 - \delta_2) \quad \text{ou} \quad \delta_1 = \frac{1}{1-\lambda}(\delta_1 - \delta_2).$$

Mais la différence $\delta_1 - \delta_2$ des déviations correspondant au même cap magnétique Z est précisément égale à la différence $z_2 - z_1$ des caps indiqués simultanément par les deux compas, à cause des relations générales (n° 2)

$$Z = z_1 + \delta_1 \quad \text{et} \quad Z = z_2 + \delta_2;$$

donc, en posant pour abréger

$$K_1 = \frac{1}{1-\lambda} \tag{11}$$

et

$$K_2 = \frac{\lambda}{1-\lambda}, \tag{12}$$

on aura

$$\delta_1 = K_1(z_2 - z_1) \tag{13}$$

et

$$\delta_2 = K_2(z_2 - z_1), \tag{14}$$

formules remarquables que l'on peut exprimer ainsi :

Les déviations correspondantes des deux compas conjugués sont

toujours proportionnelles à la différence de leurs caps, quelle que soit l'orientation du bâtiment.

On voit, en définitive, qu'il est très-simple de démontrer d'une façon générale les lois fondamentales de la méthode pratique qui fait l'objet de ce Mémoire, lorsque l'aimantation du navire est symétrique par rapport au plan longitudinal.

Considérations sur la limite qu'il convient d'assigner, dans la pratique, à l'intervalle des deux compas.

8. Bien que la théorie n'assigne aucune limite à l'intervalle des deux compas, le choix de cet intervalle n'est point indifférent dans la pratique.

Remarquons d'abord que la position du compas inférieur est assujettie à satisfaire à certaines conditions théoriques essentielles précédemment définies; elle doit être choisie dans le plan longitudinal, entièrement en dehors du plan horizontal qui limite à sa partie supérieure l'ensemble des masses de fer de la coque, et à une hauteur suffisante au-dessus de ce plan pour que la déviation maxima du compas ne dépasse pas 12° environ en grandeur absolue.

Le compas inférieur étant fixé définitivement dans cette position, il faut élever ensuite le compas supérieur sur la même verticale jusqu'au point où l'amplitude de ses déviations se trouve réduite aux $\frac{6}{10}$ de l'amplitude des déviations du compas inférieur; et l'on obtient ainsi expérimentalement, comme nous allons le montrer, l'intervalle *minimum* qu'il est indispensable d'établir entre les deux compas, pour que, dans la pratique, l'application de la méthode indiquée puisse conduire à des résultats suffisamment approchés.

Remarquons, en effet, que les déviations δ_1 et δ_2, calculées au moyen des formules (13)

$$\delta_1 = K_1(z_2 - z_1)$$

et (14)

$$\delta_2 = K_2(z_2 - z_1),$$

sont nécessairement affectées d'une erreur égale au produit des

coefficients K_1 et K_2 par l'erreur d'observation inévitable commise sur la différence des caps $z_2 - z_1$; or, dans les conditions où l'on suppose placés les deux compas, le rapport $\lambda = \frac{\delta_2}{\delta_1}$ étant toujours moindre que 1, c'est K_2 qui est évidemment le plus petit des deux coefficients $K_1 = \frac{1}{1-\lambda}$ et $K_2 = \frac{\lambda}{1-\lambda}$, et par suite c'est la formule (14) qui doit donner dans l'application les résultats les moins erronés.

Cette première raison conduit naturellement à choisir toujours le compas supérieur comme régulateur des routes; mais il faut en outre que ce compas soit fixé assez haut, au-dessus du compas inférieur, pour que l'on ait $\frac{\delta_2}{\delta_1} = < 0,6$; en effet, si la limite de l'erreur de lecture commise sur la différence des caps $z_2 - z_1$, dans une bonne observation à la mer, est 1° en moyenne, il faut que l'on ait $K_2 = < 1,5$ pour obtenir la déviation par la formule (14), à $1^\circ 30'$ près, au plus, c'est-à-dire dans les limites d'une approximation convenable. Or la relation conditionnelle $K_2 = < 1,5$ peut s'écrire

$$\frac{\lambda}{1-\lambda} = < 1,5,$$

et l'on déduit alors

$$\lambda = < 0,6,$$

ou

$$\delta_2 = < 0,6\,\delta_1.$$

Second cas.

L'aimantation du bâtiment n'est pas symétrique par rapport au plan longitudinal.

9. Les démonstrations précédentes ne s'appliquent pas au cas général où les pôles déviateurs sont distribués irrégulièrement dans le navire, car elles sont fondées exclusivement sur le caractère analytique du rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$, qui ne jouit de la propriété distinctive

de varier entre des limites *finies,* quelles que soient l'orientation du bâtiment et la distance des deux compas sur leur verticale, que si l'aimantation locale est symétrique par rapport au plan longitudinal.

Dans le cas où nous nous plaçons actuellement, l'orientation du méridien déviateur dépend essentiellement de la grandeur et de la direction de chaque force déviatrice élémentaire, et, pour une même élévation verticale du compas, ces éléments varient dans des proportions différentes selon l'orientation et la distance au compas de chaque pôle déviateur.

Alors un exhaussement vertical quelconque du compas supérieur, au-dessus de la position fixe du compas inférieur, a pour effet d'écarter graduellement son méridien déviateur de sa direction initiale, en le rapprochant d'une position limite dont l'orientation est intimement liée à l'état magnétique général du bâtiment. Le méridien déviateur du compas supérieur se trouve donc en dehors du méridien magnétique chaque fois que le méridien déviateur du compas inférieur coïncide avec ce plan; par suite, δ_2 ne peut s'annuler en même temps que δ_1, et chaque fois que δ_1 s'annule, le rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ prenant la forme symbolique $\frac{m}{0}$ devient infini; d'où résulte *théoriquement* l'impossibilité d'appliquer, dans ce cas, la loi de proportionnalité des déviations. Mais, *dans la pratique,* les déviations que l'on observe ne sont point les déviations réelles, ce sont des déviations apparentes, affectées d'une erreur de lecture qui, à la mer, atteint souvent 1°30′. Cette erreur, inhérente aux imperfections de l'instrument et aux difficultés de l'observation, représente donc la limite supérieure des déviations *réelles* que l'on est autorisé à regarder comme nulles, dans la pratique, parce qu'elles sont inappréciables à l'observation, de sorte que, si l'on diminue assez l'intervalle des deux compas pour que la déviation réelle du compas supérieur ne dépasse pas 1°30′, chaque fois que δ_1 s'annule, il sera permis de considérer les déviations δ_2 et δ_1 des deux compas comme s'annulant toujours ensemble et, par suite, leur rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ comme gardant une grandeur *finie* à tous les caps.

En d'autres termes, la loi de proportionnalité des déviations,

inapplicable au point de vue théorique, pourra être admise encore dans ce cas, avec une approximation suffisante, si l'intervalle des deux compas reste inférieur à une limite particulière que nous allons maintenant déterminer.

Lorsque l'angle des méridiens déviateurs des deux compas ne dépasse pas 15°, la loi de proportionnalité des déviations est applicable dans la pratique.

10. Représentons, en général, par θ l'angle des deux méridiens déviateurs, c'est-à-dire la différence algébrique $U_2 - U_1$ des distances angulaires de ces plans au méridien magnétique. L'équation d'équilibre du compas supérieur

$$\sin\delta_2 = \frac{\psi_2}{\varphi}\sin(U_2 - \delta_2)$$

devient, en posant $U_2 = U_1 + \theta$ et en développant le second membre,

$$(15)\quad \sin\delta_2 = \frac{\psi_2}{\varphi}\sin(U_1 - \delta_2) + \frac{\psi_2}{\varphi}[\sin\theta\cos(U_1 - \delta_2) - (1 - \cos\theta)\sin(U_1 - \delta_2)].$$

Proposons-nous de déterminer une limite supérieure de l'erreur que l'on commettrait en déduisant la déviation δ_2 de l'équation approchée

$$(16)\quad \sin\delta_2 = \frac{\psi_2}{\varphi}\sin(U_1 - \delta_2),$$

au lieu de la déduire de l'équation exacte (15), c'est-à-dire en supposant que la parenthèse du second membre de l'équation (15) soit nulle, ce qui revient à admettre que $\theta = U_2 - U_1 = 0$, ou que les méridiens déviateurs des deux compas coïncident. L'expression générale de cette erreur est

$$\frac{1}{\sin 1^\circ}\frac{\psi_2}{\varphi}[\sin\theta\cos(U_1 - \delta_2) - (1 - \cos\theta)\sin(U_1 - \delta_2)].$$

Or pour une valeur donnée de θ, entièrement arbitraire du reste, la parenthèse atteint son maximum lorsque l'angle indéterminé $U_1 - \delta_2$, variable entre zéro et 2π, satisfait à la relation conditionnelle

$$\tan(U_1 - \delta_2) = -\left(\frac{1 - \cos\theta}{\sin\theta}\right),$$

et ce maximum a pour expression le produit

$$2\sin\frac{\theta}{2}\cos\theta,$$

qui est nul pour $\theta = 0$ et $\theta = \frac{\pi}{2}$, et maximum lui-même lorsque $\theta = 48^\circ 10'$.

Donc, si l'intervalle des deux compas est limité de telle sorte que l'angle θ ne puisse dépasser 15° à aucun cap, on sera certain que la valeur numérique de l'erreur en question sera toujours inférieure au produit

$$2\frac{\psi_2}{\varphi}\sin 7^\circ 30' \cos 15^\circ$$

ou

$$0,252\frac{\psi_2}{\varphi}.$$

Pour exprimer ce produit numériquement, il suffit évidemment, en se reportant au n° 3, de poser

$$\frac{\psi_2}{\varphi} = \sin\Delta_2,$$

Δ_2 étant la déviation maxima du compas supérieur.

Or nous avons supposé, en principe, que le compas supérieur devait toujours être assez élevé pour que la déviation Δ_2 fût égale ou inférieure à 6°; donc

$$\frac{\psi_2}{\varphi} =< \sin 6^\circ =< 0,104.$$

Ainsi l'hypothèse en vertu de laquelle on regarde comme coïncidents les méridiens déviateurs des deux compas, tant que l'angle qu'ils font entre eux reste inférieur à 15°, ne peut faire commettre, sur la mesure de la déviation δ_2 du compas supérieur fournie par l'équation approchée

$$\sin\delta_2 = \frac{\psi_2}{\varphi}\sin(U_1 - \delta_2),$$

qu'une erreur égale ou inférieure en valeur numérique au produit

$$\frac{1}{\sin 1^\circ}\,0,104 . 0,252,$$

ou en degrés

$$1°30'.$$

Or, cette erreur étant de l'ordre des erreurs inévitables de lecture qui affectent généralement les déviations observées à la mer, on peut conclure, en définitive, que pour l'objet qu'on a en vue dans ce Mémoire :

1° L'angle $\theta = U_2 - U_1$ peut être considéré comme nul, tant que l'intervalle des deux compas est assez petit pour que cet angle soit moindre que 15°;

2° L'équation (10) représente dans ce cas, avec une approximation suffisante pour la pratique, le régime des déviations du compas supérieur.

Dans ces conditions, les équations d'équilibre (4)

$$\sin\delta_1 = \frac{\psi_1}{\varphi}\sin(U_1 - \delta_1),$$

exacte pour le compas inférieur, et (16)

$$\sin\delta_2 = \frac{\psi_2}{\varphi}\sin(U_1 - \delta_2),$$

approchée pour le compas supérieur, montrent que les déviations δ_1 et δ_2 des deux compas s'annulent chaque fois que $U_1 = 0$, c'est-à-dire chaque fois que le méridien déviateur du compas inférieur coïncide avec le méridien magnétique, et l'on se trouve ainsi ramené au cas où, le rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ restant *fini* à tous les caps, la loi de proportionnalité et l'expression de δ_2 qui s'en déduit sont rigoureusement applicables.

Il s'agit donc simplement, en définitive, de trouver quel doit être l'intervalle des deux compas, pour que la condition $\theta =\, < 15°$ soit satisfaite.

Il suffit, pour que l'angle θ soit moindre que 15°, et par suite pour que la loi de proportionnalité des déviations soit applicable, de limiter l'intervalle des deux compas de manière à satisfaire à la relation générale $\frac{\delta_2}{\delta_1} = 0{,}6$.

11. ω_1 et ω_2 représentant les distances angulaires au plan longitudinal des méridiens déviateurs des deux compas, on a

$$\omega_2 - \omega_1 = \delta,$$

d'où

$$\omega_2 = \omega_1 + \delta;$$

d'autre part, ces angles sont liés aux composantes rectangulaires (¹) X_1 et Y_1, X_2 et Y_2 des forces déviatrices ψ_1 et ψ_2 par les formules

$$\tang \omega_1 = \frac{Y_1}{X_1} \quad \text{et} \quad \tang \omega_2 = \frac{Y_2}{X_2},$$

d'où l'on déduit

$$\frac{\tang \omega_2}{\tang \omega_1} = \frac{Y_2}{Y_1}\,\frac{X_1}{X_2},$$

ou, en posant pour abréger $\frac{Y_2}{Y_1} = \lambda$ et $\frac{X_2}{X_1} = \mu$,

(17) $$\frac{\tang \omega_2}{\tang \omega_1} = \frac{\lambda}{\mu}.$$

Actuellement, si l'on remplace ω_2 dans cette égalité par la somme algébrique $\omega_1 + \delta$, on a, en développant,

$$\frac{\tang \omega_1 + \tang \delta}{\tang \omega_1 - \tang^2 \omega_1 \tang \delta} = \frac{\lambda}{\mu},$$

d'où l'on déduit

$$\tang \delta = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} - 1\right) \tang \omega_1}{1 + \frac{\lambda}{\mu} \tang^2 \omega_1}.$$

Si l'on veut que l'angle δ ne dépasse pas 15°, et par suite que sa tangente reste inférieure à 0,27, il faut donc que l'intervalle des deux compas avec lequel varient les rapports

$$\lambda = \frac{Y_2}{Y_1} \quad \text{et} \quad \mu = \frac{X_2}{X_1}$$

(¹) Ces composantes sont les composantes horizontales des forces déviatrices ψ_1 et ψ_2 par rapport à deux axes rectangulaires ayant pour origine le centre du compas et menés dans le plan longitudinal et perpendiculairement à ce plan.

soit limité de manière à satisfaire à la relation

$$(18)\qquad \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} - 1\right)\operatorname{tang}\omega_1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}\operatorname{tang}^2\omega_1} =< 0,27.$$

On reconnaît aisément que, pour toutes les valeurs entre zéro et π que l'on peut attribuer à l'angle inconnu ω_1, le premier membre atteint sa valeur maxima

$$\frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} - \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}}\right),$$

lorsque l'on a

$$\operatorname{tang}\omega_1 = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}}.$$

On est donc certain de satisfaire, *a fortiori*, à la condition exprimée par l'inégalité (18), en satisfaisant à la relation

$$(19)\qquad \frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} - \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}}\right) =< 0,27,$$

ou

$$\sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} - \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}} =< 0,54;$$

d'où l'on déduit enfin, par une équation du second degré,

$$\frac{\lambda}{\mu} =< 1,70$$

et

$$(20)\qquad \frac{\lambda - \mu}{\mu} =< 0,70.$$

Or, pour satisfaire à cette relation (20), il faut nécessairement restreindre l'intervalle des deux compas de manière à maintenir, en grandeur, les rapports λ et μ au-dessous d'une certaine limite numérique que nous allons déterminer.

12. Remarquons d'abord que l'on manque absolument d'indications sur la grandeur et le sens des variations que peuvent subir les composantes X_2 et Y_2 et l'orientation du méridien déviateur

du compas supérieur, lorsqu'on élève ce compas verticalement d'une quantité déterminée.

La seule donnée certaine que l'on ait à ce sujet est la diminution que subit toujours en grandeur la force déviatrice résultante ψ_2, à chaque élévation verticale du compas supérieur, lorsque ce compas est en dehors et au-dessus des limites extérieures du système déviateur.

Le rapport $\frac{\psi_2}{\psi_1}$ est donc moindre que 1 et diminue graduellement de 1 à zéro, à mesure que l'on augmente l'intervalle des deux compas de zéro à $+\infty$. Dans ces conditions, il est évident, à cause de la relation

$$\psi_2^2 = X_2^2 + Y_2^2,$$

que l'*une au moins* des deux composantes rectangulaires X_2 et Y_2 doit diminuer en grandeur avec leur résultante ψ_2, de sorte que l'on peut poser

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \lambda < 1 \quad \text{et} \quad \frac{X_2}{X} = \mu \lesseqgtr 1,$$

ou inversement

$$\frac{X_2}{X_1} = \mu < 1 \quad \text{et} \quad \frac{Y_2}{Y_1} = \lambda \lesseqgtr 1.$$

On voit ainsi que toutes les hypothèses que l'on peut imaginer sur la grandeur numérique des rapports λ et μ se réduisent nécessairement à ces quatre alternatives que nous allons analyser successivement.

Premier cas.

$$\lambda < 1 \quad \text{et} \quad \mu < 1.$$

Convenons de représenter en général par ε^2 et η^2 deux quantités indéterminées *moindres que* 1 et *essentiellement positives*.

On peut donc poser dans ce cas, où λ est < 1 et $\mu < 1$,

$$\lambda = 1 - \varepsilon^2 \quad \text{et} \quad \mu = 1 - \eta^2;$$

alors la relation conditionnelle (20) devient

$$(21) \qquad \frac{\eta^2 - \varepsilon^2}{1 - \eta^2} = < 0{,}70 \quad \text{si} \quad \eta^2 > \varepsilon^2,$$

ou

$$(22) \qquad \frac{\varepsilon^2 - \eta^2}{1 - \eta^2} = < 0{,}70 \quad \text{si} \quad \eta^2 < \varepsilon^2.$$

Dans le premier cas, c'est-à-dire si $\eta^2 > \varepsilon^2$, il est évident que $\eta^2 - \varepsilon^2 < \eta^2$, de sorte que l'on satisfera *a fortiori* à la relation (21) en posant

$$\frac{\eta^2}{1 - \eta^2} = < 0{,}70,$$

d'où l'on déduit

$$\eta^2 = < 0{,}4 \quad \text{à} \quad < \tfrac{5}{100} \text{ près.}$$

Dans le deuxième cas, c'est-à-dire si $\eta^2 < \varepsilon^2$, il est évident que $\varepsilon^2 - \eta^2 < \varepsilon^2$ et que $1 - \eta^2 > 1 - \varepsilon^2$; on satisfera donc *a fortiori* à la relation (22) en posant

$$\frac{\varepsilon^2}{1 - \varepsilon^2} = < 0{,}70,$$

d'où l'on déduit

$$\varepsilon^2 = < 0{,}4 \quad \text{à} \quad < \tfrac{5}{100} \text{ près.}$$

Deuxième cas.

$$\lambda < 1 \quad \text{et} \quad \mu > 1.$$

On peut poser alors $\lambda = 1 - \varepsilon^2$ et $\mu = 1 + \eta^2$, et la relation conditionnelle (20) devient

$$(23) \qquad \frac{\eta^2 + \varepsilon^2}{1 + \eta^2} = < 0{,}70.$$

Si $\eta^2 > \varepsilon^2$, il est évident que $\eta^2 + \varepsilon^2 < 2\eta^2$; on satisfera donc, *a fortiori,* à la relation (23) en posant

$$\frac{2\eta^2}{1 + \eta^2} = < 0{,}70,$$

d'où l'on déduit

$$\eta^2 = < 0{,}5 \quad \text{à} \quad < \tfrac{5}{100} \text{ près.}$$

Si au contraire $\eta^2 < \varepsilon^2$, on a évidemment

$$\eta^2 + \varepsilon^2 < 2\varepsilon^2 \quad \text{et} \quad 1 - \varepsilon^2 < 1 - \eta^2$$

de sorte que l'on satisfera, *a fortiori*, à la relation [illegible] en posant

$$\frac{2\varepsilon^2}{1 - \varepsilon^2} = < 0,70,$$

d'où l'on déduit

$$\varepsilon^2 = < 0,3 \quad \text{à} \quad \frac{1}{10} \text{ près.}$$

Troisième cas.

$$\mu < 1 \quad \text{et} \quad \lambda < 1.$$

On peut poser alors $\mu = 1 - \eta^2$ et $\lambda = 1 - \varepsilon^2$, et la relation conditionnelle (20) devient

$$(24) \qquad \frac{\eta^2 - \varepsilon^2}{1 - \eta^2} = < 0,70,$$

d'où l'on déduit, comme dans le premier cas, selon que $\eta^2 > \varepsilon^2$ ou $\eta^2 < \varepsilon^2$,

$$\eta^2 = < 0,4 \quad \text{ou} \quad \varepsilon^2 = < 0,4 \quad \text{à} \quad \frac{1}{10} \text{ près.}$$

Quatrième cas.

$$\mu < 1 \quad \text{et} \quad \lambda > 1.$$

On peut poser alors $\mu = 1 - \eta^2$ et $\lambda = 1 + \varepsilon^2$, et la relation conditionnelle (20) devient

$$(24 \textit{ bis}) \qquad \frac{\varepsilon^2 + \eta^2}{1 - \eta^2} = < 0,70.$$

Si $\varepsilon^2 < \eta^2$, on a évidemment $\varepsilon^2 + \eta^2 < 2\eta^2$, de sorte qu'on satisfait, *a fortiori*, à cette relation (24) en posant

$$\frac{2\eta^2}{1 - \eta^2} = < 0,70,$$

d'où l'on déduit

$$\eta^2 = < 0{,}3 \quad \text{à} \quad < \tfrac{1}{100} \text{ près.}$$

Si, au contraire, $\varepsilon^2 > \eta^2$, on a évidemment $\varepsilon^2 + \eta^2 < 2\varepsilon^2$ et $1 - \eta^2 > 1 - \varepsilon^2$, de sorte qu'on satisfait, *a fortiori*, aux relations (24) et (24 *bis*) en posant

$$\frac{2\varepsilon^2}{1 - \varepsilon^2} = < 0{,}70,$$

d'où

$$\varepsilon^2 = < 0{,}3 \quad \text{à} \quad < \tfrac{1}{100} \text{ près.}$$

En rapprochant les résultats de cette analyse qui assigne, pour tous les cas, une *limite supérieure* conditionnelle à la *plus grande* des deux fractions indéterminées ε^2 et η^2, on arrive à cette conclusion :

L'angle θ ne pourra dépasser 15°, et par suite la loi de proportionnalité des déviations sera pratiquement applicable, chaque fois que l'intervalle des deux compas sera limité de manière à rendre le *plus petit* des deux rapports λ et μ *supérieur* ou *égal* en grandeur numérique à l'un des nombres

$$1 - 0{,}5 = 0{,}5$$

ou

$$1 - 0{,}4 = 0{,}6$$

ou

$$1 - 0{,}3 = 0{,}7,$$

ou enfin, plus simplement, à leur valeur moyenne 0,6.

13. D'autre part, on a déjà vu que si cette condition est satisfaite, c'est-à-dire si l'on a $\theta < 15°$, on peut, pour l'objet qu'on a en vue, considérer cet angle θ comme nul et par suite poser $\omega_2 = \omega_1$ ou $\text{tang}\,\omega_2 = \text{tang}\,\omega_1$, ou enfin $\lambda = \mu$, à cause de la relation (17).

En se reportant à la conclusion précédente, on voit que la relation conditionnelle $\theta < 15°$ sera satisfaite, chaque fois que l'on établira entre les deux compas un intervalle tel qu'on ait

$$\lambda = \mu = 0{,}6;$$

mais, dans ces conditions, l'expression

$$\psi_2 = (Y_2^2 + X_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

de la résultante horizontale des forces déviatrices du compas supé rieur, que l'on peut mettre sous la forme

$$\psi_2 = (\lambda^2 Y_1^2 + \mu^2 X_1^2)^{\frac{1}{2}},$$

devient, en faisant $\lambda = \mu = 0{,}6$,

$$\psi_2 = 0{,}6(Y_1^2 + X_1^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{ou} \quad \psi_2 = 0{,}6\,\psi_1.$$

Or les forces ψ_1 et ψ_2 échappent à toute mesure directe de nature à indiquer à l'observateur pour quelles positions relatives des compas la relation

$$\frac{\psi_2}{\psi_1} = 0{,}6$$

est satisfaite. Il est donc indispensable de substituer à cette égalité conditionnelle une autre égalité équivalente entre des éléments d'observation fournis immédiatement par les indications des compas.

En outre, il est essentiel de vérifier si, dans le cas où l'égalité $\frac{\psi_2}{\psi_1} = 0{,}6$ est satisfaite, le rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ des déviations correspondantes des deux compas est assez petit pour que le coefficient K_2 de la formule

$$\delta_2 = K_2(z_2 - z_1)$$

ne dépasse point 1,5, limite imposée, comme nous l'avons expliqué dans le n° 8, par le degré d'approximation nécessaire à la détermination de la déviation δ_2, au moyen de cette formule.

Ces considérations nous conduisent naturellement à chercher une relation générale entre les valeurs correspondantes des rapports $\frac{\psi_2}{\psi_1}$ et $\frac{\delta_2}{\delta_1}$.

14. Pour atteindre ce but, remarquons que l'équation d'équilibre du compas supérieur (16)

$$\sin\delta_2 = \frac{\psi_2}{\varphi}\sin(U_1 - \delta_2)$$

peut s'écrire

$$(25)\quad \begin{cases} \sin\delta_2 - \dfrac{\psi_2}{\varphi}\sin(U_1 - \delta_1) \\ \quad + \dfrac{\psi_2}{\varphi}\{\sin(\delta_1-\delta_2)\cos(U_1-\delta_1)-[1-\cos(\delta_1-\delta_2)]\sin(U_1-\delta_1)\}, \end{cases}$$

et proposons-nous de déterminer une limite supérieure de l'erreur i, que on commet en supposant nulle la parenthèse du second membre, c'est-à-dire en réduisant cette équation (25) à son premier terme

$$(26)\qquad \sin\delta_2 = \frac{\psi_2}{\varphi}\sin(U_1 - \delta_1).$$

En suivant exactement la méthode exposée dans le n° **10**, pour la détermination d'une limite supérieure de l'angle θ, on trouve que, pour toutes les valeurs possibles de l'angle inconnu et arbitraire $U_1 - \delta_1$ variable de zéro à 2π, l'erreur i est limitée par la relation

$$i \sin 1^\circ < 2\frac{\psi_2}{\varphi}\sin\left(\frac{\delta_1 - \delta_2}{2}\right)\cos(\delta_1 - \delta_2)$$

ou

$$i \sin 1^\circ < 2\sin\Delta_2 \sin\left(\frac{\delta_1 - \delta_2}{2}\right)\cos(\delta_1 - \delta_2),$$

en substituant au rapport $\frac{\psi_2}{\varphi}$ sa valeur numérique moyenne $\sin\Delta_2$, selon la remarque du n° **3**.

Mais, dans les conditions où l'on suppose établis les deux compas, la loi de proportionnalité de leurs déviations correspondantes est satisfaite; le *maximum* de la distance angulaire $\delta_1 - \delta_2$ des deux aiguilles est donc précisément égal à la différence arithmétique $\Delta_1 - \Delta_2$ de leurs déviations *maxima* correspondantes. De plus, on a évidemment la relation

$$\sin\left(\frac{\delta_1 - \delta_2}{2}\right)\cos(\delta_1 - \delta_2) < \sin\left(\frac{\Delta_1 - \Delta_2}{2}\right)\cos(\Delta_1 - \Delta_2);$$

car le produit du premier membre, croissant depuis zéro, avec l'angle $\delta_1 - \delta_2$, ne devient *maximum* qu'au moment où

$$\delta_1 - \delta_2 = 48^\circ 10',$$

limite que cet angle ne peut évidemment atteindre dans la pratique, puisque l'on a admis en principe que les relations conditionnelles $\delta_1 = < 12^\circ$ et $\delta_2 = < 6^\circ$ étaient satisfaites.

On peut donc poser *a fortiori*

$$i \sin 1^\circ < 2 \sin \Delta_2 \sin \left(\frac{\Delta_1 - \Delta_2}{2}\right) \cos (\Delta_1 - \Delta_2)$$

ou

$$i \sin 1^\circ < \sin 12^\circ \sin 3^\circ,$$

puisque $\Delta_1 = < 12^\circ$ et $\Delta_2 = < 6^\circ$, ou enfin

$$i < 0^\circ 37'.$$

La petitesse de cette limite, amplifiée cependant par les déductions *a fortiori* dont on l'a tirée, montre que l'erreur i est d'un ordre négligeable, surtout en raison du peu de précision que comporte le résultat que nous poursuivons actuellement, de sorte que l'on peut, sans erreur sensible, substituer à l'équation d'équilibre (16) du compas supérieur l'équation presque identique (26)

$$\sin \delta_2 = \frac{\psi_2}{\varphi} \sin (U_1 - \delta_1).$$

En divisant membre à membre cette équation par l'équation d'équilibre exacte du compas inférieur (4)

$$\sin \delta_1 = \frac{\psi_1}{\varphi} \sin (U_1 - \delta_1),$$

on trouve alors l'égalité

$$\frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1} = \frac{\psi_2}{\psi_1},$$

ou simplement

$$\frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{\psi_2}{\psi_1},$$

et comme, du reste, dans le cas que nous supposons, $\frac{\psi_2}{\psi_1} = 0,6$, on arrive en définitive à la relation

$$\frac{\delta_2}{\delta_1} = 0,6,$$

et par suite à l'expression numérique

$$K_2 = \frac{0{,}6}{1 - 0{,}6} = 1{,}5,$$

résultats numériques qui établissent enfin, de la façon la plus générale, la loi et les formules fondamentales qu'il s'agissait de démontrer et que l'on peut énoncer dans les termes suivants.

CONCLUSION.

En fixant le compas inférieur au-dessus du plan horizontal qui limite à sa partie supérieure l'ensemble des masses de fer de la coque et à une hauteur suffisante, au-dessus de ce plan, pour que sa déviation *maxima* ne dépasse pas 12°; en élevant ensuite le compas supérieur sur la même verticale jusqu'à ce que sa déviation *maxima* soit réduite aux $\frac{6}{10}$ de la déviation *maxima* du compas inférieur, on sera certain de satisfaire aux conditions suivantes :

1° Le rapport des déviations correspondantes des deux compas sera constant à tous les caps;

2° La déviation du compas supérieur sera donnée, à tous les caps, avec la précision que comportent les indications des compas à la mer, par la formule

$$\delta_2 = K_2(z_2 - z_1).$$

Caractère du coefficient de proportionnalité des déviations λ et du coefficient K_2.

15. En se reportant aux relations (9) démontrées dans le n° 6, on voit que le coefficient λ peut s'exprimer par les rapports

$$\lambda = \frac{D_2}{D_1} \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{E_2}{E_1}$$

par exemple. Mais les termes de ces rapports sont précisément les paramètres de la formule de M. A. Smith, qui dépendent exclusivement du magnétisme d'*induction* développé dans le *fer doux*

du bâtiment par l'aimantation du globe et qui constituent les coefficients de la partie quadrantale de la déviation.

Or on sait que ces paramètres D_1, D_2, E_1, E_2 sont absolument indépendants des éléments variables du magnétisme inducteur de la Terre, parce qu'ils ne renferment dans leur constitution algébrique que :

1° Le *coefficient d'induction* du navire, facteur commun à chacun d'eux et proportionnel à la *capacité inductrice moyenne* de l'ensemble des pièces de *fer doux;*

2° Les coordonnées géométriques, relatives au compas, de chaque particule du *fer doux.*

Les déplacements géographiques du navire, qui, dans le cours d'une traversée, modifient les éléments du magnétisme terrestre variables d'un point à un autre du globe, restent donc sans effet sur la grandeur des paramètres D_1, D_2, E_1, E_2, et par suite sur la valeur commune λ de leurs rapports $\frac{D_2}{D_1}$ et $\frac{E_2}{E_1}$.

Quant au *coefficient d'induction,* il varie avec la température et l'état physique du fer dans une proportion toujours faible, il est vrai, mais quelquefois sensible, et il peut ainsi déterminer certaines modifications dans la grandeur des paramètres D_1, D_2, E_1, E_2, sans altérer toutefois leurs rapports $\frac{D_2}{D_1}$ et $\frac{E_2}{E_1}$, où il figure seulement comme facteur commun des deux termes.

Les coefficients λ et K_2 pourraient donc être considérés comme absolument invariables si, à cause de la propriété qu'a le fer doux de fixer passagèrement une partie du magnétisme induit développé dans sa masse, sous l'influence d'une orientation prolongée du navire au même cap, les paramètres D_1, D_2, E_1, E_2 n'étaient soumis à de continuelles variations, souvent insensibles, mais cependant quelquefois appréciables.

Il est évident, en effet, que, lorsque le magnétisme *induit* dans une particule de fer doux se transforme en magnétisme *permanent* ou *rétentif,* les coordonnées géométriques de ce point cessent de figurer dans les coefficients D_1, D_2, E_1, E_2 de la *déviation quadrantale* pour apparaître, au contraire, dans les coefficients B_1, B_2, C_1, C_2 de la *déviation semi-circulaire.*

Quand on supprime ensuite la cause de cette polarisation par-

tielle du magnétisme induit, l'aimantation du fer doux reprend graduellement toute sa mobilité naturelle, et les coordonnées de chaque point où s'opère cette transformation inverse disparaissent des coefficients B et C du magnétisme permanent, pour reconstituer à l'état primitif les coefficients D et E du magnétisme induit.

En d'autres termes, par suite des fluctuations continuelles du magnétisme rétentif développé par la fixité du navire à certains caps, il s'accomplit entre les paramètres du magnétisme permanent et ceux du magnétisme induit un échange incessant de certains termes dont les apparitions et les disparitions successives altèrent quelquefois peut-être la valeur commune λ des rapports $\frac{D_2}{D_1}$ et $\frac{E_2}{E_1}$, et par suite modifient le coefficient K_2 de l'équation (16).

Il sera donc prudent, à la mer, de contrôler de temps en temps, en profitant à propos des circonstances favorables, l'exactitude des valeurs numériques des coefficients λ et K_2, déterminées avec soin, au début de la traversée.

Cette vérification, dont nous allons indiquer le procédé dans la Partie pratique de ce Mémoire, est du reste fort simple, et l'expérience prouvera sans doute qu'elle est superflue.

SECONDE PARTIE.

PRATIQUE.

Il nous reste maintenant à déduire des conclusions de l'analyse précédente un ensemble de règles pratiques pouvant servir de guide au constructeur et à l'observateur dans le choix des compas conjugués, leur installation à bord et les procédés de calculs et d'observations propres à utiliser leurs indications à la mer.

16. Il est utile, avant tout, de rappeler quelques-unes des notations et des définitions qui ont été adoptées dans la Partie théorique de ce Mémoire.

Nous représenterons par :

z_1 et z_2 les *caps* du *compas inférieur* et du *compas supérieur*, comptés de zéro à 360° du nord vers l'est de la rose;

δ_1 et δ_2 les déviations du *compas inférieur* et du *compas supérieur*, comptées du *nord magnétique de la Terre* au *nord de la rose du compas*, vers l'est ou vers l'ouest. Ces déviations sont affectées du signe $+$ lorsqu'elles sont comptées vers l'est et du signe $-$ lorsqu'elles sont comptées vers l'ouest;

Δ_1 et Δ_2 les *déviations maxima* de ces deux compas;

K un coefficient *essentiellement positif* dont la valeur numérique relative à la *position* et à l'*intervalle* des deux compas est *entièrement indépendante des déplacements géographiques du bâtiment*.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE DES COMPAS CONJUGUÉS.

17. Cette méthode consiste, en principe, à déduire à vue, des *caps* indiqués simultanément par les deux compas conjugués, la

déviation correspondante du *compas supérieur* considéré comme régulateur de tous les autres compas du navire.

Positions des compas conjugués.

18. Les deux compas conjugués doivent être placés dans le bâtiment de manière à satisfaire aux conditions suivantes :

1° Ils doivent être fixés à l'*arrière* du navire dans le *plan longitudinal,* sur la *même verticale,* et aussi loin que possible de la cheminée de la machine, c'est-à-dire presqu'à toucher le couronnement ;

2° Le *compas inférieur* doit être élevé à *un mètre* au moins au-dessus du plan horizontal des sommets des porte-manteaux des embarcations et à une hauteur telle que le *maximum* de ses déviations ne dépasse pas sensiblement 12° en grandeur absolue ;

3° Le *compas supérieur* doit être fixé sur la verticale du compas inférieur, à une distance de $2^m,50$ *au moins* au-dessus du compas inférieur.

Cette distance doit être suffisante, en outre, pour que le rapport $\frac{\Delta_2}{\Delta_1}$ des *déviations maxima* correspondantes des deux compas soit *au plus* égale à 0,6 ; elle est déterminée expérimentalement dans le port, une fois pour toutes, par le procédé indiqué dans le n° 23.

Généralement, elle est proportionnée à la longueur du bâtiment et comprise entre $2^m,50$ et 8^m.

4° Il est *essentiel* que ni l'un ni l'autre des deux compas ne puisse être dévié par aucune des pièces de fer de la mâture ou du grément, qui se trouvent situées *au-dessus du plan horizontal du compas inférieur* (¹).

Relation fondamentale entre les déviations correspondantes des compas conjugués.

19. Lorsque la disposition des compas conjugués satisfait à toutes les conditions que l'on vient d'énumérer, la déviation du

(¹) Voir le n° 24.

compas supérieur est toujours *plus petite* en grandeur absolue et de *même signe* que la déviation du *compas inférieur;* en outre, le *rapport des déviations correspondantes des deux compas conserve la même valeur numérique à tous les caps.*

Cette valeur constante du rapport $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ est, pour un intervalle fixe des deux compas, *absolument indépendante des déplacements géographiques du navire.*

PRATIQUE DE LA MÉTHODE.

Détermination de la déviation du compas supérieur.

20. Cette loi conduit directement à la formule fondamentale des compas conjugués

$$(A) \qquad \delta_2 = K(z_2 - z_1),$$

qui exprime que la *déviation* δ_2 *du compas supérieur* s'obtient immédiatement en grandeur et en signe, en multipliant par un coefficient numérique K, relatif à la position dans le bâtiment et à l'intervalle des deux compas conjugués, la différence $z_2 - z_1$ que l'on obtient en retranchant le *cap* z_1 du *compas inférieur* du *cap* z_2 du *compas supérieur.*

Ce coefficient K est une *constante entièrement indépendante de l'orientation et des déplacements géographiques du navire.*

Exemples.

I.

Le coefficient K du bâtiment étant 1,5, on lit simultanément sur les deux compas conjugués :

Cap du compas supérieur..............	N. 35° E.
Cap du compas inférieur...............	N. 38° E.

Quelle est la déviation correspondante du compas supérieur?

D'après la règle adoptée pour compter les caps, on a, pour $K = 1,5$,

$$z_2 = 35^\circ$$
$$z_1 = 38^\circ$$
$$\text{Différence.....}\quad z_2 - z_1 = -3^\circ$$

donc

$$\delta_2 = 1,5(-3^\circ) \quad \text{ou} \quad \delta_2 = 4^\circ 30' \text{N.O.}$$

II.

Le coefficient K du bâtiment étant 1,2, on lit simultanément sur les deux compas conjugués :

Cap du compas supérieur...............	S. 3° E.
Cap du compas inférieur.......	S. 2° O.

Quelle est la déviation du compas supérieur?

On a, pour $K = 1,2$,

$$z_2 = 180^\circ - 3^\circ$$
$$z_1 = 180^\circ + 2^\circ$$
$$\text{Différence.....}\quad z_2 - z_1 = -5^\circ$$

donc

$$\delta_2 = 1,2(-5^\circ) \quad \text{ou} \quad \delta_2 = 6^\circ \text{N.O.}$$

III.

Le coefficient K du bâtiment étant 0,8, on lit simultanément sur les deux compas conjugués :

Cap du compas supérieur..............	N. 83° O.
Cap du compas inférieur..............	S. 88° O.

Quelle est la déviation du compas supérieur?

On a, pour $K = 0,8$,

$$z_2 = 360^\circ - 83^\circ$$
$$z_1 = 180^\circ + 88^\circ$$
$$\text{Différence.....}\quad z_2 - z_1 = 180^\circ - 171^\circ = +9^\circ$$

donc

$$\delta_2 = 0{,}8\,(+9^\circ) \quad \text{ou} \quad \delta_2 = 7^\circ 12' \text{ N.E.}$$

En résumé, pour connaître à tout instant, en tout lieu du globe, et à un cap quelconque, la déviation réelle du compas supérieur, il suffit de lever les yeux vers les compas conjugués, de lire les deux caps qu'ils indiquent, d'en faire la différence et de multiplier (1) cette différence par la constante K, dont la valeur numérique connue a été déterminée antérieurement.

Tel est, dans sa remarquable simplicité, le mécanisme de la méthode des compas conjugués.

21. La détermination immédiate de la déviation du compas supérieur, considéré comme régulateur de tous les autres compas du bord, dépend uniquement, on le voit, de la valeur numérique du coefficient K qui est relative au bâtiment et à l'intervalle des deux compas conjugués; c'est donc cette valeur qu'il importe de connaître toujours à la mer, afin de pouvoir appliquer à tout instant la méthode en question.

Détermination du coefficient K.

On doit vérifier la valeur numérique du coefficient K en la déterminant à nouveau, chaque fois qu'une circonstance de la navigation, au mouillage ou à la mer, amène le navire à l'orientation qui détermine le *maximum* des déviations correspondantes des deux compas conjugués, ou à une orientation voisine. Dans ce cas, on opère ainsi :

1° On note le plus exactement possible les *caps* indiqués au même instant par le *compas de relèvement* (z), par le *compas inférieur* (z_1) et par le *compas supérieur* (z_2);

2° On détermine la *déviation* δ du *compas de relèvement* correspondant au cap (z), au moyen d'un relèvement du Soleil observé à ce compas, en se servant des Tables azimutales de M. Labrosse; ou bien, si le navire est dans une rade, en relevant au compas un *alignement* dont l'orientation magnétique est connue exactement;

(1) Voir la Table donnant à vue le produit de cette multiplication.

3° On déduit de cette déviation δ du *compas de relèvement* la déviation correspondante δ_2 du *compas supérieur*, par la formule évidente

$$\text{(B)} \qquad \delta_2 = \delta + (z - z_2),$$

ou

$$\begin{pmatrix}\text{déviation du}\\ \text{compas supérieur}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{déviation du}\\ \text{compas de relèvement}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{cap du compas}\\ \text{de relèvement}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{cap du compas}\\ \text{supérieur}\end{pmatrix}.$$

4° Et l'on obtient le coefficient K cherché par la formule

$$\text{(C)} \qquad K = \frac{\delta_2}{z_2 - z_1};$$

c'est-à-dire en divisant la *déviation* δ_2, ainsi déterminée, du *compas supérieur* par la différence $z_2 - z_1$ des *caps* indiqués simultanément par les deux compas conjugués.

Exemple.

On sait, par des observations antérieures, que les déviations corpondantes des deux compas conjugués atteignent leur maximum lorsque le bâtiment gouverne au N. 26° E. du compas de relèvement, ou à peu près. On met donc la route à ce cap, puis on nôte les caps correspondants :

z du *compas de relèvement*, soit........	N. 26. E.
z_1 du *compas inférieur*, soit...........	N. 39. E.
z_2 du *compas supérieur*, soit...........	N. 34. E.

On détermine la *déviation du compas de relèvement* par la méthode usuelle, avec un relèvement du Soleil, soit, par exemple,

$$\delta = +2°.$$

On calcule ensuite la *déviation* correspondante du *compas supérieur* par la formule (B), qui donne

$$\delta_2 = +2° + (26° - 34°) \quad \text{ou} \quad \delta_2 = -6°,$$

et l'on trouve enfin, par la formule (C),

$$K = \frac{-6^\circ}{34^\circ - 39^\circ} \quad \text{ou} \quad K = 1{,}2,$$

qui est la valeur du coefficient K convenant au système établi des compas conjugués, et que l'on devra employer, à la mer, pour la détermination de la déviation δ_2, jusqu'à ce qu'on trouve une nouvelle occasion de la vérifier en la déterminant encore par le même procédé.

On voit que nous admettons ici que le coefficient K peut varier sensiblement, quoique très-lentement, mais nous croyons que l'expérience prouvera que l'on peut considérer ce coefficient comme étant *sensiblement constant,* à toute époque et en tout lieu, sur un même bâtiment, *tant qu'on ne change, à bord, ni les positions relatives des deux compas conjugués, ni la répartition des masses de fer déviatrices.* Dans ce cas, cette vérification de K, si simple du reste, deviendrait inutile.

Mode d'installation des compas conjugués.

22. Il s'agit d'indiquer maintenant où l'on peut trouver ou créer, sur un navire quelconque, des points d'appui convenables pour y fixer les deux compas conjugués dans les conditions prescrites.

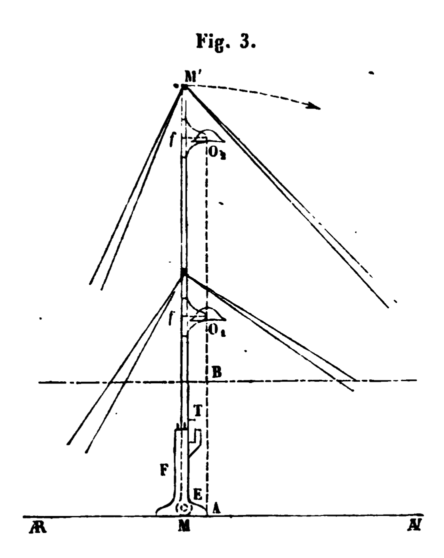
Sur quelques bâtiments, on pourrait utiliser dans ce but la face avant du mât d'artimon; mais il faudrait pour cela substituer le cuivre ou le bronze au fer dans toutes les parties métalliques de ce mât et de son gréement, transformation gênante et assez coûteuse. Nous préférons donc indiquer d'une façon générale un dispositif spécial qui présente l'avantage de pouvoir être facilement appliqué sur tous les bâtiments, sans entraîner aucune modification dans le gréement du mât d'artimon.

Cet appareil se compose d'un mâtereau volant MM′ (*fig.* 3), établi verticalement dans le plan longitudinal à l'arrière du bâtiment, très-près du couronnement, et sur une emplanture à charnière E, permettant de le dresser et de le rabattre à volonté sur l'avant pour l'enlever entièrement lorsqu'il est devenu inutile. Le mâtereau est tenu par un gréement en filin, ou mieux en fil de laiton,

composé d'étais et de haubans roidis par des ridoirs en bronze sur le pont et en abord. Sa base est en outre coincée solidement entre deux flasques (F) en bois de chêne fixés au pont et reliés entre eux, sur l'arrière, par un massif en bois, sur l'avant par une traverse mobile T. Cette disposition particulière a pour but, en consolidant le mâtereau, de diminuer considérablement ses trépidations.

Les deux compas sont fixés sur la face avant du mâtereau aux points O_1 et O_2, dont la distance a été déterminée expérimentalement dans le port. comme nous allons l'expliquer; le grand axe

Fig. 3.



de leur suspension à la Cardan repose perpendiculairement au plan longitudinal sur deux flasques en bois (f) chevillés sur les faces latérales du mâtereau, et entre lesquels la cuvette du compas peut osciller librement.

La hauteur du mâtereau est généralement proportionnelle à la longueur du bâtiment; elle se compose de la hauteur AB, au-dessus du pont, du plan horizontal des sommets des porte-manteaux des embarcations, augmentée de l'élévation $BO_1 = 1^m$ du compas inférieur au-dessus de ce plan et de l'intervalle $O_1 O_2$ des deux compas.

Détermination de l'intervalle des deux compas.

23. Pour déterminer cet intervalle, on dresse le mâtereau à son poste, après avoir fixé, à demeure, le compas inférieur au point O_1; on oriente ensuite le bâtiment au cap qui rend *maximum* la déviation de ce compas; puis on élève verticalement, à $2^m,50$ d'abord, au-dessus du compas inférieur, un compas d'essai quelconque, aussi léger que possible, que l'on fixe à faux frais sur le mâtereau, *en ayant soin d'orienter sa ligne de foi bien parallèlement à celle du compas inférieur.*

Soit Δ_1 la déviation observée du compas inférieur; on détermine la déviation Δ_2 du compas d'essai supérieur par la formule

$$\Delta_2 = \Delta_1 + z_1 - z_2.$$

On divise Δ_2 par Δ_1, et l'on obtient un quotient λ *qui doit être moindre que* 1 *et positif.* Si ce quotient $\lambda = \frac{\Delta_2}{\Delta_1}$ est *inférieur* ou *égal* à 0,5, on peut considérer le compas supérieur comme devant être bien placé au point O_2 pour l'application de la méthode; on enlève alors de ce point le compas d'essai et l'on y fixe à demeure le deuxième compas conjugué.

Si, au contraire, λ dépasse 0,5, on élève le compas d'essai jusqu'à ce que la déviation Δ_2 satisfasse à la relation

$$\frac{\Delta_2}{\Delta_1} =< 0,5.$$

Toutefois, si, pour atteindre ce résultat, on était amené à augmenter outre mesure l'intervalle des compas et par suite la hauteur du mâtereau, on pourrait se contenter de satisfaire à la relation

$$\frac{\Delta_2}{\Delta_1} =< 0,6,$$

qui correspond à la limite maxima de K, $K = \frac{3}{2}$.

Remarque.

24. Si l'on constate, en procédant ainsi par tâtonnements, que la déviation Δ_2 augmente au lieu de diminuer quand on élève le

compas d'essai, on sera certain qu'il existe, au-dessus du plan horizontal du compas inférieur, des pièces de fer dont l'aimantation agit sur les compas conjugués, de manière à empêcher l'application de la loi fondamentale $\frac{\delta_2}{\delta_1} = \text{const.}$

Mais ce cas est heureusement fort rare et ne peut guère se présenter que sur des navires ayant une mâture ou un mât d'artimon en fer; on y pourvoirait, du reste, en adoptant pour les compas une disposition relative un peu différente, conformément aux indications générales de la Note I.

Nature des compas à employer.

25. Il est indispensable que les deux compas conjugués puissent conserver une orientation précise, malgré les fortes trépidations qu'ils sont exposés à subir dans leurs positions élevées sur le mâtereau. Il faut donc employer pour cet usage des compas à liquide du système Duchemin, dont la rose à aimants circulaires possède à la fois une *sensibilité directrice* et une *stabilité mécanique* assez considérables pour qu'elle puisse indiquer immédiatement et nettement les moindres variations du cap dans les circonstances de la navigation où les autres compas dorment ou paraissent affolés.

Ces compas, en forme de cloche, se composeront d'une simple cuvette (*fig.* 4) renversée, c'est-à-dire présentant en dessous sa

Fig. 4.

glace et la face inférieure graduée de sa rose à l'observateur placé sur le pont.

Le point d'intersection des deux axes rectangulaires de la suspension à la Cardan de la cuvette devra coïncider exactement avec le centre de la rose. La ligne de foi CB de la cuvette doit être un trait noir bien net se prolongeant sur toute la longueur du diamètre correspondant AB de la glace du compas, de manière que ce soit l'intersection du plan formé par les deux traits AB et BC avec la graduation de la rose qui indique le *cap* à l'observateur.

Rôle des compas conjugués dans la navigation.

Il nous reste à définir le rôle qu'il convient d'assigner dans la navigation aux compas conjugués.

L'ensemble des deux compas sur leur mâtereau constitue un appareil régulateur dont le but spécial est de contrôler à vue l'exactitude des routes données au compas de relèvement (étalon), sans nécessiter aucun changement de cap ni aucune observation astronomique.

Cet appareil sera généralement inutile au large pendant la durée d'une traversée où la direction du bâtiment peut être suffisamment rectifiée au moyen des *variations du compas* de relèvement, dont la détermination est si rapide et si commode aujourd'hui avec les tables azimutales de M. Labrosse. On pourra donc le supprimer dès que l'on aura perdu de vue les terres, et il ne sera utile de le remettre en place que dans les circonstances de la navigation, temps brumeux, atterrages, etc..., où les moyens de déterminer la variation du compas étalon à chaque nouvelle route, pourraient faire défaut.

***Table donnant à vue la valeur* [1] *de la déviation* $\delta_2 = K(z_2 - z_1)$.**

La déviation δ_2 a le signe de la différence des caps $z_2 - z_1$, l'argument K étant un nombre essentiellement positif.

K	*Différence des caps $z_2 - z_1$ des deux compas conjugués.* 1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
	Valeurs correspondantes de la déviation δ_2 du compas supérieur.									
0,5	30′	1°	1°30′	2°	2°30′	3°	3°30′	4°	4°30′	5°
0,6	40′	1°10′	1°50′	2°20′	3°	3°40′	4°10′	4°50′	5°20′	6°
0,7	40′	1°20′	2°10′	2°50′	3°30′	4°10′	4°50′	5°40′	6°20′	7°
0,8	50′	1°40′	2°20′	3°10′	4°	4°50′	5°40′	6°20′	7°10′	8°
0,9	50′	1°50′	2°40′	3°40′	4°30′	5°20′	6°20′	7°10′	8°10′	9°
1,0	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
1,1	1°10′	2°10′	3°20′	4°20′	5°30′	6°40′	7°40′	8°50′	9°50′	11°
1,2	1°10′	2°20′	3°40′	4°50′	6°	7°10′	8°20′	9°40′	10°50′	12°
1,3	1°20′	2°40′	3°50′	5°10′	6°30′	7°50′	9°10′	10°20′	11°40′	13°
1,4	1°20′	2°50′	4°10′	5°40′	7°	8°20′	9°50′	11°10′	12°40′	14°
1,5	1°30′	3°	4°30′	6°	7°30′	9°	10°30′	12°	13°30′	15°
1,6	1°40′	3°10′	4°50′	6°20′	8°	9°40′	11°10′	12°50′	14°20′	16°

(1) *Voir* le n° 20.

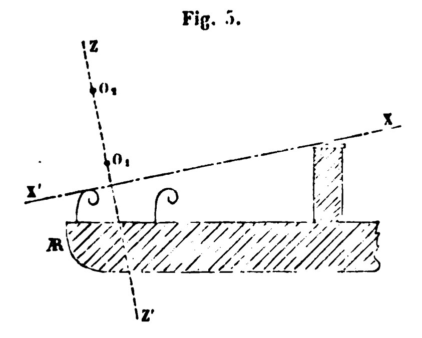
NOTES.

NOTE I.

Nous avons admis jusqu'ici que les deux compas conjugués devaient être fixés sur la *même verticale,* parce que nous considérions implicitement le *plan horizontal* des porte-manteaux des embarcations comme la limite supérieure de l'ensemble des masses de fer aimantées, ce qui a lieu sur la plupart des bâtiments. Mais lorsque l'aimantation de la partie de la cheminée de la machine, qui est située au-dessus de ce plan, peut étendre son action déviatrice jusqu'à l'arrière, ou bien lorsque le mât d'artimon est en fer, il faut placer les deux compas conjugués toujours dans le plan longitudinal; mais :

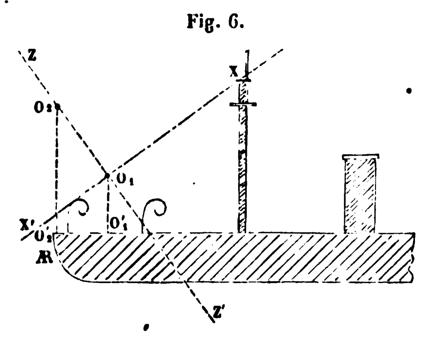
Dans le premier cas (*fig.* 5), sur une même droite ZZ′ perpendiculaire à la

Fig. 5.



droite XX′ qui joint le sommet de la cheminée au sommet du dernier porte-manteau d'embarcations à l'arrière;

Fig. 6.



Dans le deuxième cas (*fig.* 6), sur une même droite ZZ′ perpendiculaire à la

droite XX′ qui joint le sommet du mât au sommet du dernier porte-manteau d'embarcations à l'arrière.

L'intervalle O_1O_2 étant déterminé expérimentalement comme nous l'avons indiqué.

Dans ces deux cas, si la position du mâtereau incliné dans la direction ZZ′ était de nature à augmenter outre mesure l'amplitude des trépidations des compas, on installerait le *compas inférieur* sur un pied spécial O'_1O_1 (*fig.* 6), et le *compas supérieur* serait seul fixé sur un mâtereau vertical O'_2O_2.

NOTE II.

Il est indispensable de se conformer aux indications de la Note précédente, afin de satisfaire sûrement à la condition théorique qui est la base essentielle de la discussion analytique développée dans le n° 12.

Dans ce cas seulement, en effet, tous les points des parties en fer de la coque se projetant normalement sur la droite qui joint les deux compas, *en dessous du compas inférieur,* leurs distances à ces deux instruments augmentent toujours de la station inférieure à la station supérieure et, par suite, les forces déviatrices élémentaires qui en émanent directement, et leur résultante horizontale ψ, vont certainement en décroissant, sans discontinuité, du compas inférieur au compas supérieur, conformément à l'hypothèse fondamentale $\psi_2 < \psi_1$ de notre théorie.

REMARQUE.

Dans la pratique, la méthode des compas conjugués pourra s'appliquer à des déviations s'étendant bien au delà des limites assignées par la théorie, 6° pour le compas supérieur, et 12° pour le compas inférieur; car il est évident que ces limites, exclusivement relatives du reste au cas où le magnétisme n'est pas symétriquement distribué dans le navire de part et d'autre du plan longitudinal, n'ont été admises dans la deuxième Partie de ce Mémoire que pour satisfaire aux nécessités imposées par le caractère de généralité de notre démonstration.

OBSERVATION.

L'installation indiquée des compas sur un mâtereau volant n'a rien d'absolu et devra satisfaire, sur chaque navire, aux dispositions locales. Il sera avantageux, quand ce sera possible, de fixer le compas *inférieur* sur un piédestal permanent, comme compas étalon; dans ce cas, le compas supérieur seul sera sur le mâtereau; mais, quelque disposition que l'on adopte, il faudra vérifier toujours avec soin, avant d'observer, que les lignes de foi des deux instruments sont *bien parallèles.*

En outre, si les trépidations de l'hélice étaient de nature à gêner l'observateur, on stopperait la machine pendant la durée de l'observation des caps des deux compas, une minute, ou deux au plus.

TABLE DES MATIÈRES.

3912 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

Quelques officiers de la marine nationale, convaincus de la nécessité de refondre la théorie et la pratique de la navigation, ont entrepris un travail d'ensemble sur cette matière, avec la collaboration de M. Yvon Villarceau, qui a bien voulu se charger de la Partie théorique de la nouvelle Astronomie nautique.

Les bases de ce travail ont été soumises au jugement de l'Académie des Sciences, qui a décidé l'envoi au Ministre de la Marine de cent exemplaires de la Note où elles ont été exposées. D'autre part, M. le lieutenant de Magnac a soumis au Ministre un plan de réformes de l'enseignement de la navigation, et ce plan, examiné par une Commission compétente dont il a reçu l'approbation, a été renvoyé au Conseil de perfectionnement de l'Ecole navale. Il a été reconnu qu'il y aurait grand intérêt à ce que les méthodes nouvelles fussent mises le plus tôt possible entre les mains de MM. les professeurs : c'est ce qui a décidé les auteurs du présent Traité à livrer à la publicité la Partie concernant les réformes proprement dites et qui constitue la *Nouvelle navigation astronomique*.

Les autres Parties du Traité, *Navigation par l'Estime, Ancienne Navigation astronomique* et *Navigation Côtière,* feront l'objet de publications ultérieures (plusieurs des officiers qui s'en sont chargés sont actuellement absents, pour cause de service à la mer).

En ce qui concerne la *Nouvelle navigation*, deux divisions ont été faites : l'une concernant la théorie, et à laquelle il a été fait allusion plus haut; l'autre concernant la pratique : la seconde division, qui comprend la conduite des montres, a été confiée à M. de Magnac. Cet officier a joint à son exposé les exemples de calculs numériques ou de constructions graphiques nécessaires pour bien faire comprendre les opérations à exécuter dans les diverses circonstances qui peuvent se présenter.

Le présent volume se termine par un ensemble de Tables nouvelles.

Extrait des Tables des matières.

THÉORIE.

d'un arc de cercle à une portion restreinte de la courbe de hauteur. — Application de la formule générale aux courbes de hauteur; exemple. — Cas où la courbe de hauteur est fermée. — Résumé de divers résultats auxquels conduit l'étude des courbes de hauteur. — Conclusion : La théorie des courbes de hauteur est particulièrement utile et d'une facile application dans le cas des faibles distances zénithales; dans le plus grand nombre des autres cas, il conviendra de s'en tenir au tracé des droites de hauteur.

Chap. III. — *Cas particuliers où les deux coordonnées peuvent être déterminées séparément.* Circumméridiennes. — Développements en séries suivant les puissances de l'angle horaire. — Autres formes données aux développements relatifs aux circumméridiennes. — Du calcul des Tables. — Emploi des observations de circumméridiennes. — Culminations; leur emploi. — Circumpolaires; leur emploi. — Angles horaires; circonstances favorables à leur observation. — Hauteurs observées près du premier vertical. — Hauteurs observées dans le voisinage de l'angle horaire pour lequel l'angle de position est droit. — Détermination isolée de la longitude.

Notes. — I. Développement en séries de certains éléments du triangle sphérique formé par le zénith, le pôle et l'astre observé, en fonction des autres éléments. — II. Seconde approximation du problème de la détermination du point. — III. De l'erreur que l'on commet, en déterminant sur les Cartes marines la position du point rapproché, au moyen de la droite $\frac{p}{\cos L}$, menée du point estimé E, suivant l'azimut Z. — IV. Emploi des coordonnées polaires dans la détermination de la position du navire, au moyen de deux hauteurs, en partant du point estimé. — V. Détermination graphique du lieu du navire, déduite de la théorie des courbes de hauteur, en partant du point estimé et négligeant les termes d'ordre supérieur au second. — VI. Solution rigoureuse du problème de la détermination du point, au moyen de deux observations de hauteur, fondée sur l'emploi de fonctions hyperboliques. — VII. Transformation des solutions rigoureuses du problème de la détermination du point au moyen de deux observations de hauteur, en vue de la facilité des applications numériques. — VIII. Détermination rigoureuse de la position la plus probable du lieu du navire, au moyen d'un nombre quelconque d'observations de hauteur. — IX. Construction graphique de la position la plus probable du navire, au moyen de droites de hauteur. — X. Sur les courbes de hauteur dans le cas où le rapport $\frac{\sin^2 H}{\sin^2 D}$ est voisin de l'unité.

PRATIQUE.

Chap. I. — *Des chronomètres et de leur emploi à la mer.* — Considérations préliminaires. — But des chronomètres. — Embarquement des chronomètres; leur installation à bord. — Conduite des chronomètres à bord. — Détermination de l'état d'un chronomètre par des observations faites à terre, dans un lieu de position connue. — Calcul des marches diurnes des chronomètres au moyen des états observés. — Recherches des marches diurnes des chronomètres à la mer. — Etude des courbes de marche diurne des chronomètres. — Application des règles précédentes aux chronomètres de la frégate-école d'application *la Renommée.*

Chap. II. — *Détermination du point.* — *Méthodes directes.* — Détermination simultanée de la latitude et de la longitude. — Déterminations séparées de la latitude et de la longitude.

Chap. III. — *Détermination du point.* — *Méthode indirecte.* — Considérations générales sur la méthode. — Etude de la méthode indirecte par la Géométrie. Droites de hauteur. Point rapproché. — Calcul du point rapproché. — Cas particuliers qui se présentent dans le calcul du point rapproché. — Détermination de la droite de hauteur. — Détermination du point par l'intersection de deux droites de hauteur. — Détermination de la limite de l'erreur du point déterminé par deux droites de hauteur. — Opérations complémentaires de la détermination du point lorsque la première approximation est jugée insuffisante. Deux méthodes. — Cas particuliers des droites de hauteur. — Détermination directe de la latitude. — Détermination directe de la longitude. — Cas où Z_e est voisin de zéro ou 180°.

TABLES NUMÉRIQUES.

EXTRAIT DU JOURNAL *LES MONDES*.

Au moment où un illustre astronome, M. Le Verrier, digne continuateur des *Œuvres de Laplace*, terminait l'étude des principales planètes de notre système solaire, un de ses confrères, et son plus ancien collaborateur, terminait un ouvrage qui constitue l'application la plus importante de la Science astronomique, l'*Astronomie nautique*. Cet Ouvrage, que les auteurs ont intitulé *Nouvelle Navigation astronomique*, a été fait en collaboration avec un de nos officiers de marine, M. Aved de Magnac.

Les observations et les calculs faits dans les Observatoires servent à publier des éphémérides astronomiques, telles que la *Connaissance des Temps*, le *Nautical Almanac*, l'*Astronomische Jahrbuch*, etc.; éphémérides qui contiennent, pour chaque jour de l'année, les positions du Soleil, de la Lune, des planètes et d'un certain nombre d'étoiles. Ces positions sont nécessaires au marin, pour trouver le lieu de son navire, lorsqu'il n'a en vue que le ciel et l'eau ; et l'on comprend combien il importe que ce lieu soit connu exactement, afin que le navire n'aille pas se jeter sur des récifs, alors qu'on pourrait le croire éloigné de tout danger. Mais, depuis environ cent ans, la Navigation astronomique n'avait pas fait de progrès sensibles : on en était à peu près resté aux règles établies par le célèbre Borda, capitaine de vaisseau sous Louis XVI, et par quelques savants étrangers.

L'application de ces règles, comprenant à peu près tout ce que pouvaient donner les instruments nautiques à réflexion et les *chronomètres* ou *montres*

marines de cette époque, suffisait alors aux besoins de la Navigation; mais les méthodes de Borda devenaient de plus en plus insuffisantes, à mesure que les instruments et les navires se perfectionnaient.

Autrefois, quand le vent était le seul moteur des navires, le marin n'était pas toujours maître de sa manœuvre; aussi devait-il être très-prudent à l'approche d'une côte dangereuse : pour atterrir, il devait attendre que le temps fût favorable; quelquefois, il lui fallait rester à distance des terres pendant assez longtemps; mais alors une augmentation de trois, de quatre jours et même plus, sur des traversées de durées excessivement variables et souvent longues, n'avait nulle importance; en outre, cette faculté de pouvoir, sans grand inconvénient, attendre le beau temps, ne nécessitait pas la connaissance très-exacte de la position du navire; aussi un atterrissage à 10 milles marins ($18^{km},5$) près était-il considéré comme bon. Maintenant, il en est tout autrement : la vapeur, appliquée à la propulsion des bâtiments, leur a donné une rapidité incomparable avec celle des navires à voiles. Le capitaine d'un navire à vapeur, toujours maître de sa manœuvre, doit désormais arriver *quand même* et, pour ainsi dire, à heure fixe : les coups de vent, les nuits sombres, les brumes, ne doivent que peu ou point l'arrêter; mais cela ne peut se faire qu'à la condition qu'il connaisse exactement sa position. Il est donc devenu de première nécessité, pour éviter les naufrages, de mettre la Navigation à la hauteur des moyens de locomotion que possède actuellement la marine. On sera surtout frappé de cette nécessité, si l'on considère les conséquences effroyables d'un naufrage aujourd'hui : le naufrage d'un paquebot de tonnage ordinaire, c'est la mort de centaines de passagers, la perte de milliers de tonneaux de marchandises, tandis qu'autrefois le naufrage d'un grand navire à voiles ne comportait que des pertes de vies et de biens environ cinq fois moindres. Au point de vue de la marine de guerre, les conséquences d'un naufrage ne sont pas moins graves; car un grand navire cuirassé coûte environ le double d'un ancien trois-ponts et représente une force militaire bien plus grande : la perte d'un de ces nouveaux bâtiments devient ainsi beaucoup plus fâcheuse, pour le pays, que ne pouvait l'être celle du plus fort navire d'ancien modèle.

Le perfectionnement de la Navigation astronomique se présentait donc comme une nécessité de notre époque.

Les instruments qui servent à déterminer la position d'un navire à la mer, au moyen des astres, sont le sextant et les chronomètres. Le sextant est un instrument qui permet de mesurer la hauteur du Soleil ou d'un astre quelconque au-dessus de l'horizon; le chronomètre est une sorte de montre très-perfectionnée, que l'on compare à l'heure de Paris au moment du départ, et qui devrait marcher assez bien pour donner exactement cette même heure pendant toute la traversée. La position d'un lieu est marquée sur le globe terrestre par sa latitude et sa longitude : la latitude peut se déterminer au moyen du sextant, sans qu'il soit nécessaire de connaître très-exactement l'heure de Paris, mais il n'en est pas de même pour la longitude. Tout le monde sait qu'à un moment donné et défini par un phénomène visible de localités très-distantes, tel que l'apparition d'une étoile filante, les heures des montres des observateurs de ce phénomène réglées sur le temps local ne sont pas les mêmes. Un voyageur qui a réglé sa montre sur l'horloge du chemin de fer, au départ d'un train de Paris, et qui la compare à celle de la localité où il arrive, la trouve en retard, si le train s'est dirigé vers l'est, en avance s'il s'est dirigé vers l'ouest : à Nancy, par exemple, le retard serait de $15^m 24^s$; à Brest, l'avance serait de $27^m 18^s$; ces nombres, $15^m 24^s$ et $27^m 18^s$, sont précisément les longitudes Est et Ouest de Nancy et de Brest. On comprend donc qu'étant en mer, si l'on a d'une part l'heure de Paris, de l'autre

celle du lieu où se trouve le navire, on obtiendra la longitude du navire exprimée en temps, en faisant la différence de ces deux heures; la transformation de ce temps en degrés, à raison de 360 degrés pour 24 heures, exprimera la longitude marquée sur les cartes. L'heure du lieu, à la mer, résulte de l'observation de la hauteur du Soleil ou d'un autre astre au-dessus de l'horizon; cette hauteur est mesurée au moyen du sextant; l'heure de Paris est censée donnée au même moment par le chronomètre. On jugera combien il est important de pouvoir obtenir exactement l'heure de Paris, quand on saura qu'une erreur d'une minute sur cette heure produit sur la longitude une erreur de $27^{km},7$ à l'équateur et de $18^{km},2$ à la latitude de Paris : les erreurs sur l'heure locale sont toujours insignifiantes par rapport à celles de l'heure de Paris.

Le premier progrès à réaliser pour le perfectionnement de la Navigation était ainsi de trouver le moyen de conserver l'heure de Paris, aussi exacte que possible, au moyen des montres marines. Les chronomètres, quelque perfectionnés qu'ils soient, ne marchent jamais parfaitement : les variations de leurs marches sont principalement dues aux changements de température et à l'état des huiles. On comprendra facilement comment la chaleur influe sur un chronomètre, en remarquant que l'accroissement de température fait dilater les métaux, et par suite augmenter les dimensions du balancier et du ressort spiral, système qui règle la marche des montres. Le temps écoulé depuis l'introduction de l'huile dans le mécanisme influe aussi sur la marche d'une montre, en produisant un épaississement progressif. Il s'agissait alors d'établir une formule mathématique, qui pût permettre de calculer à la mer les effets de la température et du temps sur les chronomètres. Villarceau avait fait remarquer que les sciences mathématiques nous offrent un théorème applicable à l'étude d'un *phénomène quelconque*, et avait proposé d'en faire l'application à l'étude des mouvements des chronomètres; ce théorème est connu sous le nom de *théorème de Taylor :* il avait, en outre, signalé la méthode d'interpolation de notre célèbre Cauchy, comme éminemment propre à faciliter les applications de ce théorème. Mais il fallait expérimenter la méthode propsée; c'est M. de Magnac, qui, avec les conseils de M. Villarceau, entreprit cette tâche aussi délicate que pénible, à raison de l'étendue des calculs qu'elle exigeait. Après sept années d'expériences à bord de différents navires (entre autres les bâtiments Ecoles d'application, le *Jean-Bart* et la *Renommée*), M. de Magnac obtint les résultats les plus brillants. Pour en convaincre nos lecteurs, il nous suffira de faire connaître que la nouvelle méthode lui a permis d'obtenir la marche des chronomètres à moins d'un dixième de seconde par jour. On reste réellement en admiration devant la puissance des méthodes mathématiques, dont l'intelligente application permet d'arriver à des résultats d'une précision aussi extraordinaire.

Mais la conséquence utile et pratique au point de vue de l'humanité est non moins admirable, car elle permet de déterminer presque toujours la position du navire à 3 ou 4 kilomètres près, à la fin de voyages de 50 à 60 jours, dans lesquels on a parcouru 2000 et même 3000 lieues sans reconnaître la terre. Après des traversées de 30 jours, qui sont les plus fréquentes aujourd'hui, et des parcours de 1200 à 1500 lieues, l'erreur se réduirait de $1^{km},5$ à 2 kilomètres, distance comparable à celle du rond-point des Champs-Elysées à la façade des Tuileries.

Des résultats aussi remarquables ont été hautement appréciés à l'étranger, en Angleterre, aux Etats-Unis, en Allemagne, etc.; aux Etats-Unis, ils ont été cités avec les appréciations les plus flatteuses pour les auteurs de la *Nouvelle Navigation*, dans le Rapport annuel du Ministre de la marine au Président pour l'année 1876.

Une brochure de M. de Magnac, intitulée : *Recherches sur l'emploi des chronomètres à la mer*, publiée en 1874, et l'Ouvrage de MM. Yvon Villarceau et de Magnac, contiennent tout ce qui concerne la théorie et la pratique de la nouvelle méthode relative à l'emploi des chronomètres.

La question des chronomètres étant ainsi résolue, il restait encore beaucoup à faire pour utiliser convenablement l'heure de Paris obtenue au moyen de la nouvelle méthode. Il fallait, pour arriver au but, associer un astronome, d'un talent supérieur au point de vue de la théorie et des observations, avec un officier de marine suffisamment au courant des sciences mathématiques, pour donner aux résultats de la théorie des formes utilisables dans la pratique de la Navigation. M. Villarceau voulut bien, sur la demande du Ministre de la marine, M. le contre-amiral de Montaignac, entreprendre, de concert avec M. de Magnac, l'Ouvrage qui nous occupe, et, en moins de deux ans de travaux, ils ont livré à la publicité la *Nouvelle Navigation astronomique*.

Cet Ouvrage nous offre l'application la plus avancée des théories mathématiques et astronomiques aux observations faites avec les instruments les plus perfectionnés. Les résultats auxquels les auteurs sont parvenus se distinguent, par une grande supériorité, de ceux que donnaient les anciennes méthodes ; ils permettent, non-seulement de déterminer la position du navire avec une bien plus grande exactitude qu'autrefois, mais encore d'effectuer cette détermination beaucoup plus fréquemment. En suivant les anciennes méthodes, on ne déterminait guère le lieu du navire, désigné par les marins sous le nom de *point*, qu'au moyen du Soleil, et seulement lorsqu'on pouvait observer cet astre dans des conditions particulières; mais il arrivait fréquemment que ces conditions ne se présentaient pas ou que l'état du ciel empêchait de les utiliser; il était alors impossible d'obtenir ou de rectifier le point au moyen des observations astronomiques. Les travaux de MM. Villarceau et de Magnac permettent, au contraire, non-seulement d'utiliser toutes les observations du Soleil, mais très-souvent aussi celles de la Lune, des étoiles et des planètes. Nous ajouterons que les calculs de la *Nouvelle Navigation* sont moins compliqués que ceux que l'on a pratiqués jusqu'ici; les nouvelles méthodes offrent donc, à tous les points de vue, des avantages incontestables sur les anciennes. Une œuvre aussi importante méritait une publication soignée ; aussi M. Gauthier-Villars, par qui elle a été imprimée et éditée, a-t-il mis tous ses soins à l'impression : le volume que nous avons sous les yeux est une œuvre d'art au point de vue typographique.

La *Nouvelle Navigation astronomique* fait le plus grand honneur à la Science et à la Marine française. Par les travaux de M. Le Verrier, la France a reconquis la première place dans la science astronomique; par les travaux de MM. Villarceau et de Magnac, notre pays prend actuellement le premier rang dans la plus utile des applications de cette admirable science. L'humanité, l'industrie et le commerce leur seront grandement redevables: car le nombre de navires perdus chaque année atteint, s'il ne le dépasse pas, le chiffre d'un millier; que de vies humaines anéanties, que de millions engloutis dans les abîmes des mers ! Bien que les circonstances dans lesquelles se produisent ces terribles événements ne soient pas toujours connues, il n'est pas douteux qu'une grande partie ne doive être imputée à l'incertitude de la position des navires à l'approche des côtes. L'application des nouvelles méthodes réduira ces événements dans une proportion notable : elle sauvera les vies humaines des horreurs des naufrages et les richesses commerciales d'une destruction préjudiciable à tous les peuples.

4032 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

LA GUERRE D'ESCADRE ET LA GUERRE DE CÔTES

(LES NOUVEAUX NAVIRES DE COMBAT),

PAR

P. DISLERE,

Ingénieur des Constructions navales, Secrétaire du Conseil des travaux de la Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC BELLES FIGURES OMBRÉES, DANS LE TEXTE; 1876. — PRIX : 7 FR.

Les études relatives à la Marine prennent chaque jour en France une importance plus considérable; on comprend qu'il est impossible de se désintéresser dans cette transformation des flottes qui a commencé avec l'introduction de la vapeur à bord, a fait un grand pas avec la création des navires cuirassés, en fera peut-être un plus important encore le jour où l'on se décidera à s'arrêter dans la voie des navires de grandeur démesurée. Ce ne sont plus seulement d'ailleurs aujourd'hui les officiers, les ingénieurs, qui s'occupent de ces questions : le rôle que les différentes marines joueront, si le canon des batailles vient de nouveau à retentir, est trop important pour que l'on ne cherche pas à connaître d'avance les moyens d'action de chaque flotte, soit comme nombre de navires, soit comme puissance unitaire, qualités militaires et nautiques de chacun d'eux. C'est cette étude du matériel des différentes marines qu'a entreprise M. l'ingénieur Dislere, Secrétaire du Conseil des Travaux, et depuis trois ans la librairie Gauthier-Villars a successivement publié trois Mémoires descriptifs et critiques sur les cuirassés, les croiseurs, etc. Le premier, la *Marine cuirassée*, était un historique de

la nouvelle flotte due au génie de M. Dupuy de Lôme, un exposé des tentatives longues et infructueuses faites avant d'arriver à un type qui pût sembler satisfaisant. Dans le second Mémoire, la *Guerre de course, les Croiseurs*, l'auteur passait en revue les navires destinés à poursuivre le commerce ennemi, à défendre le commerce national, à porter au loin les armes et le pavillon de chaque pays; c'était en même temps un plaidoyer en faveur de la thèse soutenue aujourd'hui par un grand nombre d'esprits éclairés, l'abrogation de la déclaration annexée au traité de Paris. Cette fois, M. Dislere pris en détail l'étude de deux autres catégories de navires, de ceux qui sont spécialement destinés au combat, soit en haute mer, soit sur les côtes: la *Guerre d'escadre* et la *Guerre de côtes*, tel est le sujet choisi; nul n'était de nature à appeler plus vivement l'attention. Dans le cas d'une guerre qui, espérons-le, n'est pas encore prochaine, ce seront ces navires qui se trouveront en face les uns des autres, qui auront à s'attaquer aux fortifications à terre, à forcer les passes défendues par des torpilles. En ce moment d'ailleurs, la Marine demande de nouveaux crédits en vue de reprendre les travaux de renouvellement du matériel, interrompus ou du moins très-ralentis depuis la guerre; on sera peut-être appelé à discuter, comme on le fait chaque année en Angleterre, le choix du type à adopter, et le premier élément de toute discussion de cette nature est la connaissance de ce que font les marines rivales, celles du moins qui peuvent le devenir un jour.

Dans les premiers Chapitres de son Ouvrage, M. Dislere donne la description des navires actuellement en chantier et d'un certain nombre de ceux que l'on se propose de construire prochainement: cuirassés d'escadre, pe côtes ou de station sont successivement passés en revue; puis, partant de l'exposé des conditions actuelles de la guerre, des progrès considérables réalisés par l'artillerie, des exigences correspondantes du cuirassement, l'auteur indique les desiderata essentiels auxquels doivent satisfaire les navires de combat, il montre toutes les difficultés qui se présentent dans l'établissement d'un programme de navire, les compromis que l'on est forcé d'accepter suivant le but particulier que l'on poursuit; il aborde enfin une question toute nouvelle dont il pose les bases essentielles, le rendement d'un navire, les services qu'il peut rendre, mis en regard du prix qu'il a coûté.

L'étude sur la guerre d'escadre et la guerre de côtes n'est pas faite uniquement pour les marins: elle n'est pas bourrée de ces termes compliqués qui font de la langue maritime une sorte de clef diplomatique ne s'ouvrant qu'aux initiés; mettant les questions scientifiques à la portée des hommes du monde, ce Mémoire s'adresse à tous ceux qui s'intéressent au développement de nos forces maritimes, au rôle que doit jouer notre marine dans le concert européen.

Table des Matières.

CHAP. V. — GARDE-CÔTES ET CUIRASSÉS DE RIVIÈRE. — Garde-côtes *El Plata*. — Nouveaux monitors américains. — *Javary* et *Solimoës*. — Batteries circulaires russes *Novgorod*, *Vice-Amiral Popoff*. — Canonnières allemandes du Rhin. — Canonnières turques et espagnoles.

CHAP. VI. — PROGRÈS COMPARATIFS DE L'OFFENSIVE ET DE LA DÉFENSIVE. — Progrès de l'artillerie. — Augmentation du calibre. — Puissance et rapidité du tir. — Augmentation d'épaisseur des cuirasses. — Dédoublement des plaques de cuirasse. — Importance du matelas en bois. — Emploi des armatures en fer. — Hauteur des ceintures cuirassées. — Blindage des ponts. — Dimensions et prix des plaques de cuirasse.

CHAP. VII. — EXAMEN DES DIVERSES QUALITÉS MILITAIRES ET NAUTIQUES DES NAVIRES CUIRASSÉS. — Répartition de l'exposant de charge. — Artillerie de gros calibre. — Artillerie légère, son importance. — Éperon. — Facultés giratoires. — Nécessité d'un poste de combat pour le commandant. — Machines. — Poids. — Dispositions générales. — Système de construction. — Cloisons étanches. — Doublages en bois. — Dangers d'incendie sur les navires de combat.

CHAP. VIII. — RÉSUMÉ, CONCLUSION. — Diversité d'opinions sur les navires de combat. — Emploi des torpilles et de l'éperon. — Torpilles sur arcs-boutants, automotrices ou remorquées. — Inconvénient, au point de vue du combat, des navires d'un déplacement considérable. — Objections au système des réduits ou des tourelles. — Faible part affectée dans les différentes marines aux constructions neuves. — Rendement du capital employé à la construction d'un navire. — Conclusion.

Tableaux comparatifs des renseignements principaux relatifs aux nouveaux navires cuirassés.

LES CROISEURS,

LA GUERRE DE COURSE,

PAR

M. P. DISLERE,

Ingénieur des Constructions navales, Secrétaire du Conseil des Travaux de la Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 3 PLANCHES; 1875. — PRIX : 6 FR.

L'Ouvrage que publie aujourd'hui M. l'ingénieur Dislere traite la question des Croiseurs dans la Marine française et dans les principales Marines étrangères.

Les trois premiers Chapitres, consacrés à l'étude des Croiseurs proprement dits, correspondent chacun à l'une des transformations successives subies par ces navires, les Croiseurs à voiles, de 1666 à 1856, les Croiseurs à vapeur, à vitesse moyenne, de 1857 à 1868, les Croiseurs à vapeur à grande vitesse, depuis 1869.

Dans le Chapitre qui correspond à la période de 1666 à 1856, l'Auteur indique le but et la nature de la guerre de course, les types de navires adoptés, leur emploi dans les guerres de la République et de l'Empire, et dans la guerre des États-Unis, en 1812. Il rappelle les conséquences qu'entraîna dans le matériel naval l'invention de l'hélice, les premiers projets de navires à vapeur à grande vitesse, et la création des frégates types *Impératrice-Eugénie*. Cette première période s'arrête au traité de Paris (1856) qui, en abolissant la course, a modifié si profondément les conditions de la guerre maritime, et augmenté dans une proportion considérable la mission des Croiseurs de la Marine militaire, jusqu'à cette époque tout à fait secondaire.

La deuxième période, de 1857 à 1868, débute par le programme de la flotte française de 1857 qui, pour la première fois, fait en principe une part consi-

dérable à la guerre de course. En 1858, on pose enfin d'une manière précise les conditions auxquelles doivent satisfaire les Croiseurs, et bientôt sont mises à flot les corvettes types *Cosmao* et *Dupleix*, les frégates allongées types *Astrée* et *Sémiramis*, les frégates de deuxième rang *Vénus* et *Minerve*. L'Auteur montre le mouvement considérable qui se faisait à cette même époque dans un ordre d'idées analogue dans la Grande-Bretagne et aux États-Unis, l'Angleterre créant ses grandes frégates *Doris*, *Orlando*, l'Amérique cherchant à réunir d'abord dans ses Croiseurs, le *Colorado*, le *Niagara*, etc., une grande puissance offensive et défensive, puis, sous l'empire des nécessités militaires de la sécession, arrivant à armer des navires très-variés, au milieu desquels de glorieux souvenirs rappellent les types *Kersage*, *Sumter*, *Florida*, *Alabama*, les célèbres *Blockade-runners* et enfin la *Guerrière* et le *Contoocook*.

Dans la troisième période, 1869-1871, le Croiseur arrive à son état actuel; l'Angleterre et la France ont chacune trois classes de Croiseurs à grande vitesse, dont les types sont, en France : le *Duquesne*, le *Duguay-Trouin*, le *Rigault-de-Genouilly*; en Angleterre : l'*Inconstant*, la *Bacchante* et la *Magicienne*. L'Auteur termine ce qui concerne les Croiseurs à grande vitesse par un exposé de la situation actuelle de la flotte américaine, et par une description des Croiseurs cuirassés de l'empire de Russie.

A côté des grands Croiseurs doivent se trouver d'autres navires plus petits, ayant un faible tirant d'eau, destinés à des missions d'une importance moindre, chargés de visiter des rades ou des ports dans lesquels de grands croiseurs ne peuvent entrer : ce sont les auxiliaires de la flotte de croisière ou les éclaireurs des escadres; on les désigne sous le nom général de *Canonnières de station*; ils sont l'objet du quatrième Chapitre, qui termine, à proprement parler, l'Histoire générale des Croiseurs.

Dans la dernière Partie de l'Ouvrage, M. Dislere a étudié la puissance offensive et défensive des Croiseurs, les qualités nautiques dont ils sont doués, les systèmes de construction employés, en un mot, tous les détails qui sont nécessaires pour apprécier en toute connaissance de cause la valeur de ces navires, et pour pouvoir fixer *a priori* les services qu'on pourra leur demander.

Puis, résumant cette étude générale des flottes de croisière chez les grandes nations maritimes, l'Auteur a été amené à donner son opinion personnelle sur les Croiseurs. Convaincu que l'avenir réserve à ces navires une large et glorieuse part dans les guerres maritimes futures, il croit indispensable de les douer de toutes les qualités nécessaires pour qu'ils entrent en lutte avec avantage, et, à son avis du moins, pour réaliser ce *desideratum*, il faut renoncer aux très-grandes vitesses qui sont demandées aujourd'hui, se borner à un maximum de 15 nœuds environ, ce qui permettra d'avoir des navires plus petits, moins coûteux et plus nombreux, enfin leur donner une artillerie de petit calibre, d'un faible encombrement, mais puissante par l'efficacité de son tir et le grand nombre de ses feux.

Enfin il a réuni, comme dans le précédent Ouvrage *La Marine cuirassée*, sous la forme de tableaux, une grande quantité de documents sur les Croiseurs, documents qui permettront, en ce qui concerne la flotte de croisière, de se faire une idée exacte de la puissance relative des diverses puissances maritimes.

4063 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

